

# Jahresbericht 2005/2006/2007

des

Institutes für Elektrische Energietechnik

TU Clausthal

Clausthal-Zellerfeld  
März 2008

IEE-Bericht Nr. 16/17/18



Technische Universität Clausthal



## **Inhaltsverzeichnis**

0	Vorwort	1
1	Lehre	3
1.1	Vorlesungen	3
1.2	Übungen, Praktika, Mentoring	7
1.3	Seminarvorträge	9
1.4	Studien- und Diplomarbeiten	10
2	Veröffentlichungen, Dissertationen, Habilitationen	21
2.1	Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Patente /- anmeldungen	21
2.2	Vorträge / Seminare	25
2.3	Berichte, Technische Notizen	29
2.4	Geförderte Forschungsvorhaben	30
2.5	Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte	34
3	Forschungsarbeiten + Forschungsgebiete des Institutes	38
3.1	Ausbau der Institutseinrichtungen	38
3.2	Projektblätter	38
4	Personelle Besetzung	165
4.1	Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts	165
4.2	Nebenamtlich tätige Hochschullehrer bzw. Lehrbeauftragte	171
4.3	Wissenschaftliche Hilfskräfte	171
4.4	Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen und in den Selbstverwaltungsgremien der Universität	172
5	Links	173
6	Anlagen	173





## **0 Vorwort**

Liebe Freunde und Förderer, Ehemalige und Mitarbeiter des Institutes,

seit dem Erscheinen des letzten Jahresdoppelberichtes 2003/04 ist der Umstrukturierungsprozess der TU Clausthal fast abgeschlossen. Ziel war es, trotz der 10 %igen Budgetkürzung die Universität konkurrenzfähig für die Zukunft aufzustellen und zwar in Abstimmung mit unseren befreundeten Wettbewerbern in Hannover und Braunschweig.

So wie es derzeit aussieht, werden wir im Rahmen des Gesetzes zur Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH) zusammenrücken. Das neu entstehende Gebilde soll dann, hoffentlich unter Wahrung der altbekannten Marken Leibniz Universität Hannover, Carolina Wilhelmina TU Braunschweig und TU Clausthal, die Ressourcen trilokal und arbeitsteilig bündeln. Ziel ist in der Exzellenzinitiative 2009 neben Exzellenz, die allein nicht ausreicht, auch noch Größe mit in den Ring zu werfen. Fragt sich nur, wie die Körperschaft des öffentlichen Rechtes gesellschaftsrechtlich aussehen soll. Ein 25 Millionen Zusatz-Budget für die nächsten fünf Jahre ist jedenfalls schon genehmigt.

Die TU Clausthal hat offenbar gute Startbedingungen. Denn die neuen Forschungscluster korrespondieren zu den drei Fakultäten

- Materialwissenschaften
- Energiewissenschaften
- Maschinen- und Anlagenbau

und sind für Clausthal reserviert; und wer die Hochschule kennt, weiß dass es passt. Wie das mit den übrigen Gebieten Physik/Chemie und Informatik weitergeht bleibt abzuwarten. Sinnvoll und aussichtsreich wäre eine Ausrichtung auf technologische Inhalte also

- physikalische Technologien
- chemische Technologien
- Informationstechnologien

wobei die Gebiete Material und Energie eine besondere Berücksichtigung finden werden.

Die bestehende Hochschule mittlerweile tragende quantitative Betriebs- und Volkswirtschaft bleibt aus heutiger Sicht unangetastet. Die Hochschule hat auf diese niedersächsische Entwicklung schnell reagiert und in der neuesten Entwicklungsplanung die in Gründung befindlichen drei zentralen Einrichtungen

- Clausthaler Materialzentrum
- Niedersächsisches Energieforschungszentrum in Goslar
- Simulationswissenschaftliches Zentrum

festgeschrieben und mit zusätzlicher Ausstattung versehen.

Am weitesten fortgeschritten ist das EFZN, an dem auch nennenswert das IEE beteiligt ist. Es wurde offiziell am 07.12.2007 in Goslar, Am Stollen 19 gegründet und startet nach Fertigstellung des Gebäudes im Jahre 2010/11 mit einem jährlichen Budget von rd. 2,5 Mio. Euro. Thema ist die gesamte Energiekette und ihre Nachhaltigkeit. Im Endausbau können hier 80 Wissenschaftler beschäftigt sein, die von fünf Niedersächsischen Universitäten nach Goslar mit dem Ziel einer transdisziplinären Arbeitsweise abgeordnet werden. Ich werde Sie über dieses Projekt auf dem Laufenden halten. Im Vorgriff hierauf wurde bereits ein virtueller Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) vom Ministerium für Wissenschaft und Kultur im Jahr 2006 ins Leben gerufen, an dem auch fünf Niedersächsische Hochschulen teilnehmen. Er ist zunächst auf drei Jahre angelegt und mit rd. 5 Mio. Euro ausgestattet. Der FEN hat als Fokus die dezentralen elektrischen Energiesysteme (Microgrid) und befaßt sich mit der Frage einer verstärkten dezentralen elektrischen Energieerzeugung und -verteilung. Die Federführung liegt beim IEE. Es gibt hierzu bereits einen ersten Statusbericht, der von Interessierten bei mir angefordert werden kann. Alles weitere in zwei Jahren!

Es grüßt mit einem herzlichen “Glück aufwärts” im Jahr 2008

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck

# 1 Lehre

## 1.1 Vorlesungen

Die Studentenzahlen sinken leider leicht ab. In den Fächern des Grundstudiums halten sie sich auf einem akzeptablen Niveau. Der wirtschaftliche Aufschwung hat uns noch nicht erreicht.

Erfreulich bleiben die Studentenzahlen im Hauptstudium, denn an den Hauptvorlesungen

- Theorie Elektromagnetischer Felder
- Elektrische Energietechnik
- Energiesysteme

und neuerdings auch Energieelektronik nehmen jeweils im Schnitt ca. 20 - 30 StudentenInnen pro Studiumjahr teil. Wir freuen uns natürlich über den Zuspruch, auch wenn er mit mehr Arbeit verbunden ist, kann er doch auf mehr Schultern verteilt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Hörerzahl bei den IEE-Vorlesungen im Einzelnen:

		<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>
Beck/ Wehrmann	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (W 8800 / S 8801)	324	296	150
Beck/ Turschner	Elektrische Energietechnik (S 8803)	75	55	60
Beck/ Turschner	Regelung Elektrischer Antriebe (W 8808)	8	4	6
Beck	Energieelektronik (S 8811)	10	20	5
Beck/ Turschner u. a.	Energiesysteme (W 8804)	25	30	55
Heldt	Sonderprobleme Elektrischer Maschinen (W 8805)	6	6	7
Wehrmann	Elektrische Energieverteilung (W 8812)	27	15	14

		<b><u>2005</u></b>	<b><u>2006</u></b>	<b><u>2007</u></b>
Wehrmann	Elektrische Energieerzeugung (S 8815)	13	11	15
Turschner	Leistungsmechatronische Systeme (S 8826)	6	5	4
Sourkounis	Regenerative Elektrische Energietechnik (W 8818)	15	6	10
Sourkounis	Darbietung der Regenerativen Energiequellen (W 8822)	15	4	-
Maubach	Elektrizitätswirtschaft (S 8819)	15	16	23
Baake	Theorie Elektromagnetischer Felder (S 8817)	30	30	40
Wenzl	Batteriesysteme (W 8816)	6	5	5
Ludwig	Dyn. Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft (S 8825)	12	8	9
Lülf	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen (W 8828)	5	5	5
Hapke	Regenerative Energiequellen (W 8830)	8	8	16
Beck/ Darrelmann	Autonome Netze (W 8832)	5	5	5
Buddenberg	Fossile und regenerative Energieressourcen (S 8831)	-	-	7

Insgesamt wurden im Verlauf dieser drei Jahre 1273 Vor- und Hauptdiplomprüfungen von den prüfungsberechtigten Hochschullehrern bzw. Lehrbeauftragten des Institutes abgenommen. Alle Prüfungen wurden, der guten Tradition der TUC entsprechend, mündlich bzw. halbschriftlich (Grundlagen der Elektrotechnik I, II, mit Praktikum 807 Teilnehmer) durchgeführt. Mündliche Prüfungen sind in Gegensatz zu Klausuren auch Lehrveranstaltungen, weil eine Interaktion und Kommunikation zwischen Prüfer und Prüfling stattfindet, die darüber hinaus auch eher der Situation der späteren Berufswelt entspricht. Da diese Prüfungsform des reinen Gespräches aus Kapazitätsgründen nicht immer vollständig eingehalten werden kann, gibt es im Fach „Grundlagen der Elektrotechnik I, II“ nach wie vor eine mündliche Prüfung mit einem vorgeschalteten schriftlichen Fragenteil.

Im übrigen könnten die unterschiedlichen Dipl. und BA/MA-Prüfungsordnungen der im Folgenden aufgelisteten Studiengängen mit einer Klausur kaum eingehalten werden, weil nicht individuell auf den Prüfungsumfang (z. B. E-Technik I, E-Technik II und deren Kombinationen mit oder ohne Praktikum) eingegangen werden kann. Es müssten mehrere verschiedene Klausuren angeboten werden, was den Prüfungsaufwand weiter steigern würde. Die gewählte Lösung ist also ein guter Kompromiss.

Die StudentInnen belegten die angebotenen Fächer des IEE im Rahmen folgender Studiengänge der Fakultäten I und II:

**Vor dem Vordiplom:**

Grundlagen der Elektrotechnik I/II in den Studiengängen

- Maschinenbau
- Verfahrenstechnik
- Chemieingenieurwesen
- Energiesystemtechnik
- Wirtschaftswissenschaften
- Werkstoffwissenschaften
- Kunststofftechnik
- Informationstechnik
- Informatik
- Physikalische Technologien
- Bergbau
- Erdöl-/Erdgastechnik
- Energie und Rohstoffe (BA/MA ab 01.10.04)

**Nach dem Vordiplom:**

Im Rahmen des Fachstudiums werden die Angebote des IEE derzeit folgenden Studiengängen als Pflicht-, Wahlpflicht- und Schwerpunktfach zugeordnet :

- Maschinenbau, Studienrichtung "Mechatronik"
- Energiesystemtechnik, Energiesystemtechnik-Ergänzungsstudiengang  
(für BA/FH-Absolventen)
- Wirtschaftsingenieurwesen, Studienrichtung Rohstoffe und Energie
- Physikalische Technologien, Schwerpunkt Energiesysteme

Der Fachbereich MVC hat entsprechend den Empfehlungen der Wissenschaftlichen Kommission des Landes, die bisher erfolgreiche Studienrichtung Elektrotechnik und Systemautomatisierung in Mechatronik umgestellt und durch zwei neue Professuren Regelungstechnik + Mechatronik und Automatisierungstechnik + Elektrotechnik verstärkt. Auch die Zusammenlegung von Maschinenbau und Informatik in eine Fakultät trägt zur Stärkung dieses Fachgebietes bei. Die Mechatronik (hier: Umrichter-Antriebstechnik für größere Leistungen unter besonderer Berücksichtigung der mechanischen Antriebskomponenten und der Lasteingangsfunktion der Arbeits-/Kraftmaschinen) und die Energiesystemtechnik in regenerativen Sparten – Arbeitsgebiete auf denen das IEE schon seit Jahren tätig ist – werden dabei als Zukunftsthemen deklariert, was uns natürlich freut.

Für Mechatronikanlagen größerer Leistung ( $> 10 \text{ kW}$ ), haben wir den Begriff “Leistungsmechatronik” geprägt, und zwar in Analogie zur Elektronik/Leistungselektronik. Leistungsmechatronik enthält als Kerngebiete die Leistungselektronik, Antriebstechnik, Regelungstechnik und Technische Informatik; sie ist damit ein Gebiet der (elektrischen) Energiesystemtechnik. Sie unterscheidet sich von der bisherigen Antriebstechnik durch die noch weiter ausgedehnten Gebiete: Modellbildung, Simulation und Optimierung. So ist z. B., wie in einem laufenden Forschungsprojekt, auch der Walzspalt inklusive der elektrischen Antriebstechnik teil des Gesamtmodells, weil nur durch diese Weiterfassung der Systemgrenzen die Selbsterregungseffekte im Walzgerüst und deren eingebettete Abhilfemaßnahme durch entsprechend geregelte elektrische Antriebe als aktive Schwingungsdämpfer beherrscht werden können. Die neue Arbeitsgruppe mit demselben Namen, ist wie der Leser bemerken wird, gut ausgelastet und mit interessanten Themen beauftragt.

Neben der Leistungsmechatronik gehören noch die regenerative dezentrale elektrische Energietechnik und die Speichersysteme mit Elektroenergie-Zugang zu den Arbeitsgebieten des IEE und zwar in Forschung und Lehre, wie es an einer Technischen Universität sein sollte. Das gesamte Arbeitsgebiet wird unter dem Begriff (elektrische) Energiesystemtechnik als Teil des grundständigen, namensgleichen Studienganges zusammengefasst.

## 1.2 Übungen, Praktika, Mentoring

Im Berichtszeitraum wurden folgende Übungen und Praktika durchgeführt. Die Zahlen geben jeweils die geschätzte Teilnehmerzahl an.

		<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>
Große Übung	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann/ ab WS 06 M'Buy)	324	296	150
Tutorien	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Stagge)	200	150	140
Repetitorien	Prüfungsvorbereitung Vordiplom Elektro- technik (Stagge und wissenschaftliche Hilfskräfte)	20	25	140
Praktika	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann, wissenschaftliche Hilfskräfte)	342	346	311
Übung	Elektrische Energietechnik (Turschner)	75	55	60
Übung	Regelung Elektrischer Antriebe (Turschner)	8	4	6
Übung	Leistungsmechatronische Systeme (Turschner)	6	5	4
Praktikum	Energieelektronik (Hesse)	10	10	5
Übung	Energieelektronik (Hesse)	10	10	20
Übung	Elektrische Energieerzeugung (Schmidt)	8	9	15
Praktikum	Mechatronik (Turschner, Stagge, T. Hesse)	8	5	5
Grundpraktikum	im Hauptstudium (Maschinenbau) (Stagge, Osika ab 2007)	50	50	55
Praktikum	Regenerative Elektrische Energietechnik (Sourkounis)	15	6	10
Übung	Regenerative Elektrische Energietechnik (Sourkounis)	15	6	10

		<u>2005</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>
Übung	Darbietung der Regenerativen Energiequellen (Sourkounis)	15	4	-
Übung	Elektrische Energieverteilung (Wehrmann, zum Hingst)	27	10	14
Übung	Batteriesysteme (Wenzl)	6	5	5
Grundpraktikum	Energiesystemtechnik (Stagge, Osika ab 2007)	15	15	5
Praktikum	Elektrische Antriebe I (Schmidt, Osika ab 2007)	6	12	8
Übung	Elektrizitätswirtschaft (Maubach)	15	16	23
Übung	Theorie der elektromagnetischen Felder (Baake)	30	30	40
Übung	Sonderprobleme elektrischer Maschinen (Heldt)	6	6	7
Übung	Dyn. Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft (Ludwig)	12	8	9
Übung	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen (Lülf)	5	5	5
Übung	Regenerative Energiequellen (Hapke)	8	8	16
Übung	Autonome Netze (Darrelmann)	5	5	5
Übung	Fossile und regenerative Energieressourcen (Buddenberg)	-	-	7



## **1.3 Seminarvorträge**

### **2005**

**Betreuer:** Dr. E.-A. Wehrmann

Tüxen, Erik	Optimierung der Messverfahren zur Bestimmung der Netzverträglichkeit von Windenergieanlagen
-------------	---

**Betreuer:** Dr. D. Turschner

Abdulmawla, Mahmoud	Automatisieren mit Simatic S7
Brettholle, Mareike	Hybridantrieb
Mathes, Sebastian	Technische Komponenten eines speziellen Hybridfahrzeugs
Schmidt, Jörg Michael	Windenergie - Standortauswahl und Erträge

**Betreuer:** Dr. H. Wenzl

Lemsiah, Esserghini	Mathematische Modellierung von Strömen auf der Gleichspannungsseite von erneuerbaren Energiesystemen
---------------------	--

### **2006**

**Betreuer:** Dr. D. Turschner

Ding, Xiaolu	Dreischluchtenstaudamm in China
Gose, Sven	Säureschichtung in Bleibatterien
Shao, Yanhua	Erneuerbare Energiengesetz in China

**2007****Betreuer:** Dr. D. Turschner

Bünsow, Christian	Potential der Lithium-Ionen-Batterie
Hauser, Gerald	OBD Rußsensor
Heimbach, Sarah	Vorstellung eines studentischen U-Boot-Projektes
Kunz, Karl-Kristian	Vorstellung eines studentischen U-Boot-Projektes
Meiser, Siw	Möglichkeiten der CO <sub>2</sub> -Minderung
Stubbe, Markus	Möglichkeiten des TriCore-Rechners von Infineon
Wiesemeyer, Karin	Einflußfaktoren der Klimaerwärmung
Xiaohu, Hu	Gezeitenkraftwerk

**1.4 Studien- und Diplomarbeiten****Studienarbeiten****2005**

Abdulmawla, Mahmoud	Energieoptimierung einer Betriebswasseranlage durch den Einsatz von Frequenzumrichter Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Winkler
Grote, Jörn	Simulation der Regelung einer elektronisch kommutierten Gleichstrommaschine Betreuer: Dr. Turschner
Herwig, Kathrin	Projektierung einer netzgekoppelten Photovoltaikanlage an einem gegebenen Gebäude, inklusive Literaturrecherche zur Technologie und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen Betreuer: Dr. Turschner

Hesse, Thomas	Low harmonic emissions high power factor three phase six pulse rectifiers Betreuer: Dr. Turschner
Kühne, Kevin	Erprobung verschiedener Softwaresysteme zur Planung und Simulation Elektrischer Energieverteilungsnetze Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. zum Hingst
Tanekou, Armand	Berechnung des Spannungsverlaufs in Akkumulatoren bei transients Stromänderung Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Ropeter
Tanekou, Armand	Erstellung einer Leitstandoberfläche für den Energiekonditionierer des Clausthaler Energieparks Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Dowrueng
Termeer, Jan	Energie-Einspar-Contracting Betreuer: Dipl.-Ing. Albers (Mega Watt), Dr. Turschner
Vielhauer, Armin	Untersuchung der Eignung von Filtereinrichtungen zur Kompensation von Oberschwingungen im Erdschlussreststrom gelöscht betriebener Mittelspannungsnetze Betreuer: Dipl.-Ing. Hesse, Dipl.-Ing. Nehrkorn (E.ON Avacon)
Wirth, Jens-Uwe	Messung und Auswertung der Qualität verschiedener A/D-Wandler und Methoden zur Verbesserung der erreichten Ergebnisse mittels digitaler Filter Betreuer: Dr. Turschner

**2006**

Blumenröther, Alexander	Entwurf und Implementierung von Messdatenerfassung, Überwachung, Steuerung und Mensch-Maschine-Schnittstelle für einen Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Prüfstand durch Auswahl und Programmierung von geeigneter dezentraler Automatisierungshardware und Bedien-PC Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Stagge
Ciodaru Iulian-Dacian	The use of the digital signal processors in controlling the induction motors powering Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner, Dr. Mandrescu, Dr. Tulbure (Rumänien)
Fekit Ahmed, Hassen	Entwurf und Erstellung von Online-Videos für einen Versuch des Grundpraktikums Maschinenbau Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Dowrueng
Gose, Sven	Development of a test procedure for the classification of acid stratification in lead-acid batteries Betreuer: Dr. Wenzl, rise (Perth, Australien)
Grobecker, Markus	Marktchancen der SOFC-Brennstoffzelle und die an sie gestellten Anforderungen in der mobilen Strom- und Wärmeversorgung Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Stagge
Hau, Melanie	Feasability Study on a Hybrid Power System for the Site of Fécamp, France Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Nichita (Greah)

Maksym, Grzegorz	Simulation des stationären Betriebsverhaltens von netz- und umrichter gespeisten Asynchronmaschinen zur Berechnung des Wirkungsgrades Betreuer: Dr. Turschner
Marks, Mathias	Literaturrecherche zum Thema Oberschwingungskompensation in Niederspannungsnetzen Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. R. Hesse
Schmidt-Reindahl, Jakob	Lastmanagementsysteme für Haushalte mit netzgekoppelten Windenergieanlagen/Blockheizkraftwerken Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Peterschmidt (inensus)
Stepanescu, Sebastian	Simulation des Betriebsverhaltens von Netz- und Umrichter gespeisten Asynchronmaschinen Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner, Herr Fotau, Dr. Tulbure (Rumänien)
Zaidan, Kassem	Praktikumsentwurf zur Steuerung einer Frequenzumrichteranlage mit dem S7-300 und dem Operator Panel OP17 Betreuer: Dr. Turschner

### **2007**

Badea Ionut Florin	Programming of Some Tools for Data Processing and Parameterization of a Digital Storage Oscilloscope Betreuer: Dr. Turschner
Feizelmeier, Ivo	Anforderung an eine Batterie im Betrieb beim Startvorgang eines Verbrennungsmotors Betreuer: Dr. Wenzl, Dr. Mbuy

Mathes, Sebastian	Lebensdauerverlustrechnung von Bleibatterien in Schienenfahrzeugen Betreuer: Dr. Wenzl, Dr. Mbuy
Meise, René	Brennstoffzellendemonstrator für die Energieversorgung dezentraler Anwendungen - Simulation des elektrischen Teilsystems Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Stagge
Speckmann, Markus	Entwurf und Erprobung eines optimierten Verfahrens zur Ladezustandsermittlung von Bleibatterien für Hybridsysteme mit Windenergieeinspeisung Betreuer: Dr. Turschner
von Daake, Andreas	Ausgangsspannungsregelung einer SOFC mit batteriegestütztem Gleichspannungswandler Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Stagge

**Projektarbeiten****2005**

Alketib, Quais Aselmeier, Charlotte Marks, Mathias	Ermittlung des Energieeinsparungspotentials der Technischen Universität Clausthal anhand ausgewählter Institute Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. zum Hingst
Balling, Markus Bieber, Michael Freter, Rene	Entwicklung eines Umrichters und Realisierung einer Raumzeigermodulation zur Steuerung einer Asynchronmaschine aus einem Gleichspannungszwischenkreis Betreuer: Dr. Turschner

Holm, Mirjam	Entwurf und Realisierung verschiedener Konzepte von
Kühne, Kevin	DC/DC-Wandlern mit niedriger Eingangsspannung für
	Brennstoffzellensysteme
	Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Stagge

**2007**

Barth, Susanne	Optimierung des Einsatzes von Oder- und Okerkraftwerk
	zur Reduzierung kostenintensiver Bezugsspitzen bei der
	Harz Energie GmbH
	Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Schmidt

Becker, Andreas	Entwurf einer Regelung, Inbetriebnahme und Test für eine
Speckmann, Markus	elektronisches Lenksystem
Toutziaridis, Ioannis	Betreuer: Dr. Turschner

Bünsow, Christian	Einsatzmöglichkeiten alternativer Energiesysteme zur
Sachs, Gudrun	CO <sub>2</sub> -Emissionsminderung bei Mehrfamilienhäusern
Ziegenbein, Heiko	(Altbau)
	Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. zum Hingst,
	Dipl.-Ing. Stagge

Song, Bin	Entwurf und Realisierung eines Praktikums "Elektrische
Liu, Dakai	Energiespeicher"
Jiang, Meina	Betreuer: Dr. Wenzl, Dipl.-Ing. Bengel
Wang, Ning	

**Diplomarbeiten**

**2005**

Abdulmawla, Mahoud	Inbetriebnahme einer SIMATIC S7 Steuerung mit vier Antriebseinheiten, Bediengerät OP17 und Profibus-Kommunikation Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Beck
Barthel, Marko	Entwurf und Realisierung eines IT-Sicherheit-Systems zwischen Intranet des Clausthaler Energieparks und Internet Betreuer: Prof. Beck, Prof. Ecker (Inst. f. Informatik), Dr. M'Buy
Bethke, Lars	Untersuchung und Optimierung des EMV-Verhaltens einer Leistungselektronik-Baugruppe Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Beck
Dornburg, Lutz	Entwurf und Realisierung eines Sperrwandlers zur DC/DC Wandlung bei 2 V Eingangsspannung Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Beck, Dipl.-Ing. Stagge
Fritsche, Andreas	Entwicklung eines Steueralgorithmus für Multiplexbetrieb bei Gleichstromstellern zur dynamischen Kompensation der Stromüberschwingungen Betreuer: Prof. Sourkounis, Prof. Ecker (Inst. f. Informatik)
Herwig, Kathrin	Netzzrückwirkungen großer Photovoltaik-Anlagen mit Zentralwechselrichtern der Firma SMA Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Beck, H. Hermeling (SMA)
Hesse, Thomas	Definition und Auswahl einer Umrichterkonzeption zur Netzkopplung von Windenergieanlagen kleiner Leistung Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Peters



Lemsiah, Esserghini	Mathematische Analyse des Oberschwingungsverhaltens von Gleichstromsystemen bei erneuerbaren Energiesystemen und ihre Auswirkungen auf Batterien Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wenzl, Dr. M'Buy
Nikolai, Swantje Sue	Optimierung des Energiemanagements eines regionalen Energieversorgungsunternehmens Betreuer: Prof. Beck, Prof. Diedrichs (FH OOW /Wilhelms-haven)
Panning, Heiko	Technische, rechtliche und ökonomische Voraussetzungen für den Betrieb von Virtuellen Kraftwerken Betreuer: Prof. Carlowitz, Dr. Wehrmann
Reiländer, Dirk	Rechnerische Optimierung der Schaltzeiten und Kraft-Hub-Kennlinien von schnellschaltenden 2/2-Wegeventilen Betreuer: Dr. Wehrmann, H. Müller (FH Koblenz)
Scholl, Sönke	Technische und wirtschaftliche Untersuchung zur Stromproduktion durch Erdgasentspannung am Standort des Erdgasspeichers Reibrook Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck
Tanekou, Armand	Ladekennlinie von Bleibatterien und Ladezustandsberechnung im hohen Ladezustand Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wenzl, Dr. M'Buy
Tüxen, Erik	Optimierung der Messverfahren zur Bestimmung der Netzverträglichkeit von Windenergieanlagen Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck, H. Möller (Windtest)

Xu, Hongbin                      Simulation eines SOFC-Brennstoffzellenstacks im stationären und instationären Zustand  
Betreuer: Prof. Beck, H. Kunz, Dipl.-Ing. Stagge

Zindel, Carsten                      Untersuchung der Auswirkungen von technischen und energie- wirtschaftlichen Risikofaktoren auf die Wirtschaftlichkeit eines Großprojektes am Beispiel der Leistungserhöhung eines Kernkraftwerks  
Betreuer: Prof. Beck, Prof. Zimmermann

**2006**

Kühne, Kevin                      Entwicklung von Lastprofilen für die Abwicklung von nicht- leistungsgemessenen Kunden im liberalisierten Gasmarkt  
Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck

Grote, Jörn                      Simulation der Regelung eines linearen Direktantriebes in synchroner Bauweise  
Betreuer: Dr. Turschner

Lüdicke, Carsten                      Machbarkeitsstudie zum Einsatz von mobilen Wasserkraft- werken zur Nutzung der kinetischen Energie von Flüssen  
Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner

Marks, Mathias                      Untersuchungen zur Netzanbindung großer Offshore-Wind- parks in der westlichen deutschen Nordsee  
Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann

Rempe, Matthias                      Untersuchung der Dimensionierungsmöglichkeiten von Gas, Wasser und Stromversorgungsnetzen in Wohn-, Misch- und Gewerbegebieten  
Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck

Schmidt-Reindahl, Jakob	Electric Power Supply Concepts for Island Networks The Example Malta Betreuer: Prof. Beck, Dr. Lessing (CUTEC-Institut)
Schulz, Kerstin	Online-Korrektur von Tagesfahrplan zur Dispatcherunterstützung in der dezentralen elektrischen Energieversorgung Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann
Termeer, Jan	Nachhaltige Energieerzeugung im Harz - Optionen zur Reaktivierung des Wasserkraftwerks im Kaiser-Wilhelm-Schacht Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck,
Tu, Chongtao	Spitzenlastoptimierung der TU Clausthal Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann
Vielhauer, Armin	Untersuchung und Dimensionierung eines aktiven Filters zur Kompensation von Oberschwingungsströmen am Beispiel des Mittelspannungsnetzes Lüneburg Hafen Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Hesse, Dipl.-Ing. Nehrkorn (E.ON Avacon)
Wortmann, Svenja	Analyse von Maximum Power Point Regelungen für einen PV-Wechselrichter Betreuer: Dr. Tuschner, Dr. Wehrmann, Dr. Bettenwort (SMA)
Zhao, Fengfeng	Aufbereitung der Archivdaten und Training des Prognose-Tools für den Clausthaler Energiepark Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Dowrueng

**2007**

Abouskhr, Abdelaziz	Simulation der Regelung einer elektrischen Maschine nach dem Prinzip der direkten Selbstregelung Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Baye, Marco	Entwicklung eines Device-Treibers und Reglers für die Motoren und das Lenkrad am Steer-by-Wire-Teststand Betreuer: Prof. Richter, Dr. Turschner
Blumenröther, Alexander	Analyse des Zeitverhaltens drahtlosen Prozessdatenaustausches über mit Bluetooth arbeitende I/O-Klemmen Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Vetter (IPP), Dipl.-Ing. Stagge
Breyer, Christian	Concentrating Solar Power Global Potential and Application in the United Arab Emirates Betreuer: Prof. Beck, Herr Weber (IEVB)
Musial, Wojciech	SPS-Netzwerkmodernisierung im Kohlenkraftwerk DETMAROVICE mit dem Schwerpunkt Kommunikation mit Fernstationen Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Nullmeier, Charlotte	Aufbau eines Vermarktungssystems für einen Kraftwerksbetreiber zur Teilnahme an Ausschreibungen für Regelenergie Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck, Herr Sachtleben (VWK), Herr Janus (VWK)
Schmidt, Jörg Michael	Netzseitige dezentrale und übergeordnet dezentrale Systemautomatik zur Vermeidung eines Spannungszusammenbruchs Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck, Herr Winter (E.ON)

Speckmann, Markus	Entwicklung der Beschichtungs- und Strukturierungstechnologie für organische Solarzellenmodule Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann, Herr Niggemann (ISE)
van Dyken, Silke	Entwicklung eines Kältemoduls für das Programmwerkzeug eTransport zur Planung lokaler Energiesysteme Betreuer: Dr. Wehrmann
Zhang, Bo	Online-Lastmanagement zur Dispatcher-Unterstützung Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann

## **2 Veröffentlichungen, Dissertationen, Habilitationen**

### **2.1 Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Patente / -anmeldungen**

#### **Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Bücher**

##### **2005**

Siemers, W. Wehrmann, E.-A.	Energiepark Clausthal - Erneuerbare Energien im Verbund iQ Journal, (1. Quartal 2005)
Beck, H.-P. u. a.	Sicherheitsmanagement in europäischen Eisenbahnunternehmen Broschüre, (Januar 2005)
Turschner, D. Stichweh, H. Beck, H.-P.	Entwicklung adaptiver Reglerstrukturen zur Dämpfung von multi-frequenten selbsterregten Schwingungen in Walzwerks-Antriebs-systemen VFWH-AW 136, (April 2005)

- Mohamed, E. F. A.  
Beck, H.-P.  
Wehrmann, E.-A.      Balancing the Fluctuation of Renewable Power Sources with Un-cooled Compressed Air Storage Plant  
Tagungsband: 24<sup>th</sup> International Power Sources Symposium & Exhibition, Corn Exchange Brighton, UK, (19.-21 April 2005)
- Beck, H.-P.  
Schmidt, M.      Grid stability in areas with distributed generation  
EPQU 8th International Conference, Electrical Power Quality And Utilisation, Cracow, Poland (21.-23. September 2005)
- Musasa, T.B.  
Beck, H.-P.      Synthese von Antriebssträngen - Neues mathematisches Modell einer hydrodynamischen Kupplung  
antriebstechnik Heft 10/2005

### **2006**

- Beck, H.-P.  
Benger, R.  
M'Buy, M. A. J.  
Hilberger, H.  
Rick, F.      Simulation von Bordnetzen  
eb (Elektrische Bahnen), Heft 8-9/2006
- Beck, H.-P.  
Dowrueng, A.  
zum Hingst, J.  
M'Buy, M. A. J.  
Wehrmann, E.-A.      Dispatcher Support Systems in Decentralised Renewable Energy Supply – Clausthal Energy Park –  
Tagungsband: Managing Environmental Knowledge, 20th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Graz, Austria, (6.-8. September 2006)
- Beck, H.-P.      An European and German Strategy for a Sustainable, Competitive and Secure Energy Supply  
Tagungsband: Universitaria Simpro 2006, Editura Universitatis, Petrosani, Rumänien, (13.-14. Oktober 2006)

Beck, H.-P.  
Söffker, C.      Realer Nutzen durch Energierückgewinnung in Dieseltriebzügen  
(Real benefit of regenerating energy in diesel powered rail vehicles  
ZEV rail (Zeitschrift für das gesamte System Bahn), Heft Dezember  
2006, Sonderausgabe

### **2007**

Beck, H.-P.  
zum Hingst, J.  
Mbuy, M. A. J.  
Wehrmann, E.-A.      Energiemanagement im Energiepark Clausthal  
Handbuch Energiemanagement, 21. Ergänzungslieferung, (März  
2007)

Hesse, R.  
Beck, H.-P.  
Turschner, D.      Virtuelle Synchronmaschine  
etz S2 Motion & Mechatronics, VDE Verlag, (Mai 2007)

Beck, H.-P.  
Schröder, C.  
Wehrmann, E.-A.      Nachbildung nicht gemessener Abnahmen eines Gasverteilnetzes  
mit Hilfe eines Messgrößenbeobachters  
GWF 5 Gas, Erdgas (148. Jahrgang, Oldenbourg Industrieverlag),  
(Mai 2007)

Hesse, R.  
Beck, H.-P.  
Turschner, D.      Simulation einer Virtuellen Synchronmaschine  
Simulationswissenschaftliches Zentrum der Technischen Uni-  
versität Clausthal, Bericht 2005-2006, (Juni 2007)

Beck, H.-P.  
Wehrmann, E.-A.  
Schröder, C.      Vorausschauende Gasnetzsimulation  
Simulationswissenschaftliches Zentrum der Technischen Uni-  
versität Clausthal, Bericht 2005-2006, (Juni 2007)

Beck, H.-P.  
Wehrmann, E.-A.  
zum Hingst, J.      Dezentrales Energiemanagementsystem-Prozessmodell des elektri-  
schen Mittelspannungsnetzes  
Simulationswissenschaftliches Zentrum der Technischen Uni-  
versität Clausthal, Bericht 2005-2006, (Juni 2007)

- Beck, H.-P.                      Simulation von Bordnetzen  
Benger, R.                      Simulationswissenschaftliches Zentrum der Technischen Universität Clausthal, Bericht 2005-2006, (Juni 2007)
- Beck, H.-P.                      Virtuelle Synchronmaschine in stromrichterdominierten schwachen Netzen  
Hesse, R.                      Zwölftes Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik, Regelungstechnik für dezentrale Energiesysteme, (22.-23. November 2007)  
Turschner
- Beck, H.-P.                      Identifizierung von Knotenlasten zur prozessbegleitenden Lastflusssimulation von Mittelspannungsnetzen  
zum Hingst, J.                      Handbuch Energiemanagement, 24. Ergänzungslieferung, (Dezember 2007)  
Wehrmann, E.-A.

**Patentanmeldungen**

- Hesse, R.                      Konditionierungseinrichtung für Energieversorgungsnetze  
Beck, H.-P.                      Anmeldetag: 06.10.2006  
Turschner, D.
- Wenzl, H.                      Elektrochemisches Energieumwandlungssystem  
Stagge, H.                      Anmeldetag: 05.12.2007  
Benger, R.  
Beck, H.-P.

**Dissertationen:****2005**

- Berkan, Jens                      Modellierung des Schlepp- und Startverhaltens von Verbrennungsmotoren bei tiefen Temperaturen  
Referenten: Prof. Schwarze; Prof. Beck
- Mohamed, El-Shahat                      Uncooled Compressed Air Storage for Balancing of Fluctuating Wind Energy  
Referenten: Prof. Beck, Prof. Barth



Rezaei, Mohammadreza    Auslegung und Optimierung von polyphasigen permanentmagnet-  
erregten Synchronmaschinen  
Referenten: Prof. Canders, Prof. Beck

Söffker, Carsten        Konzeption und Erprobung eines Schwungradspeichers in einem  
dieselelektrischen Triebzug  
Referenten: Prof. Beck, Prof. Canders

### **2006**

Muamer, Husam        Design and Realization of a Linear Actuator with High Power  
Density as well as low Power Loss as Fully variable valve train in  
spark-ignition engine  
Referenten: Prof. Beck, Prof. Liu (TU Kaiserslautern)

Ropeter, Carsten        Verhalten von Batterien bei impulsförmigen Strombelastungen  
unter Berücksichtigung des Skineffektes  
Referenten: Prof. Beck, Dr. Wenzl

### **2007**

Hesse, Ralf            Virtuelle Synchronmaschine  
Referenten: Prof. Beck, Prof. Canders

## **2.2    Vorträge / Seminare**

Wehrmann, E.-A.	Netzstabilität
Schmidt, M.	Energie als globale Frage - Anforderungen an Forschung und
Beck, H.-P.	Entwicklung aus globaler Sicht
	Fachtagung von Bündnis 90/Die Grünen, bei General Electric
	Global Research Europe, München, 15. Januar 2005
Beck, H.-P.	Dezentrale Energieerzeugung - eine Option für einen ausge-
Schmidt, M.	wogenen Energiemix
	Kongress zur Energiepolitik der Jungen Union Niedersach-
	sen, Hannover, 16. April 2005

Wenzl, H.	Studies on Pre-Heating of Batteries with Alternating Currents
Ropeter, C.	Proceedings of the 5th International Advanced Automotive
Ashtiani, C.	Battery and Ultracapacitor Conference and Symposia, Hono-
Bulling, M.	lulu, Hawaii, 13.-17. Juni 2005
Wehrmann, E.-A.	Der Clausthaler Energiepark
	Sommerfest der TU Clausthal, 2. Juli 2005
Beck, H.-P.	Dezentrale Energieerzeugung - eine Lösung zukünftiger
	Energieprobleme
	Niedersächsisches Telekolloquium, 7. Juli 2005
Wehrmann, E.-A.	Online - Telezugriff auf den Energiepark Clausthal
	Niedersächsisches Telekolloquium, 7. Juli 2005
Wehrmann, E.-A.	Energiepark Clausthal
	Besuch der BTU Cottbus an der TUC und dem CUTEC
	Besichtigung der Anlagen, 11. Juli 2005
Lülf, G.	Instandhaltung von elektrischen Maschinen und Energie-
	anlagen
	TU Clausthal, 13. Juli 2005
Wenzl, H.	Virtuelles Kraftwerk Harz
Beck, H.-P.	Jahreskongress des Bundesverbands Kraft-Wärme-Kopplung,
Schmidt, M.	Berlin, 23.-24. November 2005
Leba	Applications of Distributions Theory in Software Oriented
(Uni Petrosani, Rumänien)	System Control
	Institut für Elektrische Energietechnik, 28. November 2005
Tulbure, A.	Schutz- und EMV-Aspekte bei modernen Leistungshalblei-
(Uni Petrosani, Rumänien)	tern
	Institut für Elektrische Energietechnik, 28. November 2005

- Turschner, D.  
Hesse, R. Power electronic substitution of a classical synchronous machine for power conditioning in decentralized energy supply  
3rd French - German conference Renewable and Alternative Energies, University of Le Havre, PFT Fécamp, France, 05.-06. Dezember 2005
- Schäfer, G.  
Peters, H.  
Barth, S.  
Meyer, A. General overhaul and technical adaption of second-hand wind-turbines, operation in weak grids  
Energía Eólica y sus perspectivas de desarrollo, El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba, 12.-18. Dezember 2005
- Beck, H.-P. Forschung im deutschen und europäischen Kontext  
ESG "Wissenschaft, Technik und Ethik, 8. Februar 2006
- Scherbeck  
(SE Scherbeck Energy GmbH) Überblick über Energiehandel unter Berücksichtigung von dezentraler Einspeisung innerhalb eines Regelgebietes  
Institut für Elektrische Energietechnik, 17. Februar 2006
- Schmidt, M./Wenzl, H.  
Beck, H.-P. 10.000 Mikro kW Anlagen in einem virtuellen Kraftwerk: eine Win-Win-Situation für (fast) alle  
Handwerkskammer Osnabrück, 10. Mai 2006
- Beck, H.-P. Energieforschung in Niedersachsen  
Tagung: Biokraftstoffe der zweiten Generation: Marktreife in Sicht?, CUTEC-Institut, Clausthal-Zellerfeld, 15. Juni 2006
- Beck, H.-P. Forschungsverbund Energie Niedersachsen - Dezentrale Energiesysteme -  
OFFIS-Tag, Oldenburg, 19. Juni 2006
- Beck, H.-P. Dezentrale Energieversorgung hat Zukunft  
Besuch Minister Gabriel anlässlich der Vortragsveranstaltung zum Virtuellen Kraftwerk, Goslar, 21. Juli 2006
- Beck, H.-P. Einsatzgebiete der Elektrotechnik im Umfeld der Brennstoffzelle  
1. Niedersächsisches Brennstoffzellen-Forum "Schlüsseltechnologie Brennstoffzelle", Dorint Novotel Hannover, 21. September 2006

Beck, H.-P./Schmidt, M./ Stagge, H./Hesse, R.	Einsatzgebiete der Elektrotechnik im Umfeld der Brennstoffzelle Niedersächsisches Brennstoffzellen-Forum “Schlüsseltechnologie Brennstoffzelle”, Dorint Novotel Hannover, 21. September 2006
Peterschmidt, N. (inensus)	German hybrid technology – Rural electrification with wind energy World Wind Energy Conference 2006, Delhi, Indien, 07. November 2006
Benger, R.	Simulation von Bordnetzen Symposium “Elektrische Fahrzeugantriebe und -ausrüstungen”, Dresden, 14.-15. November 2006
Beck, H.-P./Schmidt, M.	Forschungsverbund Energie Niedersachsen und das virtuelle Kraftwerk Harz Netzwerk Wissenschaft für Klimaschutz, Braunschweig, 22. November 2006
Beck, H.-P./Schmidt, M	Energieversorgung der Zukunft - Perspektiven, Virtuelles Kraftwerk Harz - Energieforschungszentrum Niedersachsen - Harzenergie Osterode, 05. Dezember 2006
Beck, H.-P./Schmidt, M	Energie-Lösungen der Zukunft – Das virtuelle Kraftwerk Vortrag im Rahmen der Veranstaltungsreihe „Importieren, abbauen oder anbauen?“ in der Alten Nikolaischule Leipzig, 05. Dezember 2006
Beck, H.-P./Lummer/ Schmidt, M./Wenzl, H.	Synthetische Einspeiseprofile bei dezentraler Erzeugung Präsentation für BNA, 29. Mai 2007
Hesse, R.	Virtuelle Synchronmaschine (VISMA)-AG Energiekonditionierung und -speicherung 1. Statusseminar des Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) in Goslar, 18.-19. Juni 2007

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| Osika, O.                   | Stabilität von Autonomen Netzen am Beispiel Energiepark Clausthal<br>1. Statusseminar des Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) in Goslar, 18.-19. Juni 2007 |
| Beck, H.-P./Schmidt, M.     | Führt dezentrale Energieproduktion zu niedrigeren Preisen?<br>Mittelstands- und Wirtschaftsvereinigung der CDU in Berlin, 06. September 2007                         |
| Hesse, R./Beck, H.-P.       | Virtual Synchronous Machine<br>9th International Conference Electrical Power Quality and Utilisation, Barcelona, 09.-11. Oktober 2007                                |
| Beck, H.-P./Reinicke, K. M. | Grundlast von der Nordsee<br>Erste Niedersächsische Enrgietage in Hannover, 31. Oktober-01. November 2007  |

## **2.3    Berichte, Technische Notizen**

- |               |   |
|---------------|---|
| Stagge, H.    | Technische Notiz Nr. 16/161   |
| Kirchner, M.  | Entwicklung eines Gleichspannungswandlers mit besonders                                     |
| Beck, H.-P.   | kleiner Eingangsspannung, 2005  |
| Benger, R.    | Technische Notiz Nr. 16/162   |
| Ropeter, C.   | Messung des dynamischen Verhaltens des Energiespeichers im                                  |
| Wenzl, H.     | Energiepark Clausthal und daraus abgeleitete Rückschlüsse auf                               |
| Beck, H.-P.   | den Zustand der Batterie, 2005  |
| Stagge, Hanno | Technische Notiz Nr. 16/165<br>Gleichspannungswandler für den SOFC-Systemdemonstrator, 2007 |

## **2.4 Geförderte Forschungsvorhaben**

Im Berichtszeitraum wurden folgende geförderte Forschungsvorhaben bearbeitet :

Ägyptische Regierung

Windenergiespeicherung mit heißer Druckluft

Bearbeiter: Dipl.-Ing. E. Mohamed

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Lehr- und Demonstrationsanlage für dezentrale regenerative Energiesysteme (Energiepark Clausthal)

Bearbeiter: Dr. Ing. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Ing. C. Ropeter,  
Dipl.-Ing. A. Dowrueng

Land Niedersachsen, Nieders. Umweltministerium Hannover

Landesstrategie Brennstoffzelle - Strategische Optionen für die Entwicklung der Brennstoffzellentechnologie in Niedersachsen

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr. rer. nat. H. Wenzl

Deutsche Bahn AG

Erstellung und Übergabe eines Simulationsprogrammes für Gleichstrombordnetze von Schienenfahrzeugen

Bearbeiter: Dr. rer. nat. H. Wenzl, Dr.-Ing. A. Mbuy

Beiersdorf AG

Anbringung einer Drehzahlmesseinrichtung

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. D. Turschner

Beiersdorf AG

Leistungserfassung an einem Rührwerk

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. D. Turschner

EWE Aktiengesellschaft

Dezentrales Energiemanagement System (DEMS)

Projektgruppe: Netzstabilität, Teilprojekt Prozessmodell

Kurzbezeichnung: DEMS-Prozessmodell

Bearbeiter: Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Ing. J. zum Hingst

EWE Aktiengesellschaft

Dezentrales Energiemanagement System (DEMS)

Projektgruppe: Bezugsoptimierung, Teilprojekt Bezugsoptimierung und Netzstabilität mit Speichereinsatz

Kurzbezeichnung: DEMS-Bezugsoptimierung

Bearbeiter: Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Ing. A. Dowrueng

EFRE (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Virtuelles Kraftwerk

Bearbeiter: Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann, Dr. rer. nat. Wenzl,  
Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt

VFWH AW 136

Entwicklung adaptiver Reglerstrukturen zur Dämpfung von multifrequenten selbsterregten Schwingungen in Walzwerks-Antriebssystemen

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)

EXIST-SEED “Existenzgründung im Bereich: Kleinkraftwerke in hybriden Inselnetzen zur Elektrifizierung abgelegener Gebiete”

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. N. Peterschmidt  
Dipl.-Ing. H. Peters, Herr J. Schmidt-Reindahl

Land Niedersachsen / MWK

ELAN (eLearnig Academic Network Niedersachsen)

Projekt “ELAN-Partner Energy Management”

Bearbeiter: Dr.-Ing. A. Mbuy

EWE Aktiengesellschaft

Machbarkeitsstudie Energieversorgungskonzepte für Inselnetze am Beispiel Malta

Kurzbezeichnung: DEMS-Bezugsoptimierung

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. N. Peterschmidt

EFRE (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Optimierte Wind-Diesel-Hybridsysteme in Inselnetzen

Kurzbezeichnung: OPTIWIND

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. T. Hesse

CUTEC GmbH

Systemdemonstrator für die Energieversorgung dezentraler Anlagen

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. H. Stagge

Avacon AG

Kooperation auf dem Gebiet der dezentralen Energieerzeugung

Kurzbezeichnung: Avacon DEEZ

Bearbeiter: Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt

Gasversorgung Thüringen GmbH

Entwicklung und Einsatz einer vorausschauenden Gasnetzsimulation

Kurzbezeichnung: Gasnetzsimulation - Lastprofile

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. C. Schröder

VFWH AW 137

Strukturoptimierter adaptiver Dämpfungsregler zur Reduzierung von multifrequenten selbsterregten Schwingungen in mechatronischen Systemen

Kurzbezeichnung: Strukturoptimierter Dämpfer

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

Land Niedersachsen / MWK

MWK Großgerät Energiekonditionierer

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. R. Hesse

Institut für Elektrische Energietechnik

Zentralmittel der TU Clausthal

Errichtung einer Lehr- und Demonstrationsanlage für "Hybride Elektrische Inselsystemversorgungen"

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. H. Peters

Hansen Transmission (Belgien)

Windgetriebeprüfstand 13,2 MW

Kurzbezeichnung: GetrPrüfst 13 MW

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. D. Turschner

Land Niedersachsen / MWK

Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)

Dezentrale Energiesysteme - Teilprojekt Z: Zentrales Sprecherprojekt zur Koordination des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen

Kurzbezeichnung: TPZ

Bearbeiter Prof. H.-P. Beck



Land Niedersachsen / MWK

Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)

Dezentrale Energiesysteme - Teilprojekt 3: Energiekonditionierer

Kurzbezeichnung: TP3

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. R. Hesse

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)

Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen - Grundlast von der Nordsee

Kurzbezeichnung: Grundlast von der Nordsee

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt

Hansen Transmissions (Belgien)

Untersuchung möglicher Belastungsfälle für Windkraftanlagen als Folge der E.ON Netzanschlussregeln

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

Hansen Transmissions (Belgien)

Prüfstandsuntersuchungen zu möglichen Belastungsfällen für Windkraftanlagen durch Sonderereignisse

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

Sieb & Meyer

Umrichter für stationäre Brennstoffzellensysteme

Bearbeiter: Dr. rer nat H. Wenzl

Frötek-Kunststofftechnik GmbH

Erstellung einer Machbarkeitsstudie für fahrtwindgetriebene Windgeneratoren

Kurzbezeichnung: fahrtwindgetriebene Windgeneratoren

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck

NBank/CUTEC GmbH

Verbundprojekt: Entwicklung und Erprobung einer Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC) mit einer parallelen Systemarchitektur W3-80014156

Kurzbezeichnung: Parallel-SOFC

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. H. Stagge

EFRE (Europäischer Fond für regionale Entwicklung)

Entwicklung eines portablen Geräts zum Testen und Behandeln von Batterien für Kfz-Werkstätten

Kurzbezeichnung: Batterietestgerät

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr. H. Wenzl, Dipl.-Ing. R. Benger, Dipl.-Ing. A. Haubrock

DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt)

Die Integration von Solar Home Systems in Micro Grids, eine Strategieentwicklung unter technischen, soziologischen und ökonomischen Gesichtspunkten

Kurzbezeichnung: Vom SHS zum Micro-Grid

Bearbeiter: Dipl.-Ing. N. Peterschmidt

Beiersdorf AG

Messung am Mischer 15 (nicht newtonischen Flüssigkeiten)

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. D. Turschner

Technische Universität Kaiserslautern

Messdaten und Prüfstandsnutzung Windgetriebeprüfstand

Kurzbezeichnung: Untersuchung Windgetriebeprüfstand

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. D. Turschner

Fortis Windenergy (Niederlande)

Modulares Batterieladegerät und Überspannungsschutz für Windkraftanlagen

Kurzbezeichnung: Ladegerät WKA

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Ing. N. Peterschmidt

AiF / DECHEMA

SOFC-Brennstoffzelle mit partieller Anodenabgasrückführung

Kurzbezeichnung: SOFC mit Anodenabgasrückführung (AAGR)

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. H. Stagge, Dr.-Ing. D. Turschner

Land Niedersachsen / MWK

ELAN III - eLearning Modul

Dezentrale Energiesysteme

Bearbeiter: Dr.-Ing. A. Mbuy

## **2.5 Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte**

### **Veranstaltungen:**

23. Juni 2005

Anlässlich des 70. Geburtstages von Herrn Prof. Theuerkauf wurde im Institut ein Empfang mit anschließender Institutsvorführung durchgeführt.

20. Dezember 2005

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

03. Mai 2006

Feierliche Verabschiedung von Herrn W. Hansmann

30. Juni 2006

4. Technologietagung mit Ehemaligen des IEE und externen Gästen

02. November 2006

Verleihung des “Klima-Dachs”-Preises an den Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Herr Sigmar Gabriel

Veranstaltungsort: Institut für Elektrische Energietechnik

19. Dezember 2006

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

06. März 2007

Feierliche Verabschiedung von Herrn H. Kirchner

13. Dezember 2007

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

### **Exkursionen:**

10. Januar 2005

Exkursion zur Firma Piller, Osterode

Besichtigung der Produktionsanlagen (USV)

11. Februar 2005

Mini-Exkursion zum Pumpspeicherkraftwerk Erzhausen

(nur IEE- Bedienstete)

12. Juli 2005

Exkursion zur Salzgitter AG, Werk Salzgitter

Besichtigung des Werks - von der Erzeugung des Roheisens am Hochofen bis zur Herstellung von Halb- und Fertigprodukten in den Walzwerken

13. Juli 2005

Besichtigung des Pumpspeicher-Kraftwerkes Erzhausen

20. Juli 2005

Exkursion zur Salzgitter AG, Werk Peine

Besichtigung des E-Stahlwerks

21. Juli 2005

Besichtigung des Pumpspeicherkraftwerk Erzhausen

27.-28. Juli 2005

Zum Abschluss der Vorlesungen “Elektrizitätswirtschaft” wurde eine zweitägige Exkursion durchgeführt. Zusätzlich zu einem Vortrags- und Seminarprogramm wurden folgende Besichtigungen durchgeführt:

- Besichtigung des Pumpspeicherkraftwerks in Goldisthal
- Besichtigung der Leitstelle Oschersleben
- Besichtigung einer der Produktionsstätten der Enercon GmbH in Magdeburg
- Besichtigung der Müllverbrennungsanlage Rothensee

27. Februar 2006

Besichtigung des Werkes der Deutschen Exide in Bad Lauterberg

20. Juli 2006

Mini-Exkursion zum Pumpspeicherkraftwerk Erzhausen

26.-27. Juli 2006

Zum Abschluss der Vorlesungen “Elektrizitätswirtschaft” wurde eine zweitägige Exkursion durchgeführt. Zusätzlich zu einem Vortrags- und Seminarprogramm wurden folgende Besichtigungen durchgeführt

- Besichtigung des Umspannwerks in Wolmirstedt VET
- Besichtigung des Call Center der RegioCom
- Besichtigung der Müllverbrennungsanlage Busschhaus mit Tour durch den Tagebau
- Besichtigung eines der VW-Heizkraftwerke in Wolfsburg

13. März 2007

Besichtigung ÜSTRA Hannoversche Verkehrsbetriebe Aktiengesellschaft

12. Juli 2007

Besichtigung der Salzgitter AG

- Besichtigung der Warmbreitbandstraße
- Besichtigung des Hochofens

- Besichtigung der Antriebs- und Umrichtertechnik
- Besichtigung der Gichtgasentspannungsturbine

17. Juli 2007

Gemeinsame Exkursion von Prof. Balck und Dr. Wehrmann zu den Vorlesungen “Geschichte der Energietechnik” und “Elektrische Energieerzeugung”

- Besichtigung der Turbinenhalle Pumpspeicherkraftwerk, Geesthacht
- Besuch der Ausstellung (INFO) am Kernkraftwerk Krümmel, Brennstäbe, Nuklearkreislauf, Turbinenschaufeln
- Besichtigung des Elbe-Schiffahrtsmuseum Lauenburg, Dieselmotoren, Dampfmaschinen, Glühkopfmotor mit Generator
- Besichtigung Windmühle Bardowick, mechanische Flügelverstellung moderner Bauart
- Besichtigung des Schiffshebewerk Scharnebeck

25.-26. Juli 2007

Zum Abschluss der Vorlesungen “Elektrizitätswirtschaft” wurde eine zweitägige Exkursion durchgeführt. Zusätzlich zu einem Vortrags- und Seminarprogramm wurden folgende Besichtigungen durchgeführt:

- Besichtigung Kraftwerk Ingolstadt/Irsching, Großmehring
- Besichtigung der Hauptschaltwarte, Dachau

**Gastaufenthalte:**

01.08.2005 - 31.10.2005

Herr Jishen Peng, Liaoning Technical University, Fuxin (China)

Thema: Electric Transmission

01.11.2005 - 28.02.2006

Herr (Ass. Prof.) De Qiang Zhang, Liaoning Institute of Technology (China)

Thema: Mechanic and Electric Engineering

## **3 Forschungsarbeiten**

### **3.1 Ausbau der Institutseinrichtungen**

Zur weiteren Komplettierung der Institutseinrichtungen wurden folgende Neuanschaffungen getätigt:

- Hybridfahrzeug Toyota Prius
- Virtuelle Synchronmaschine (VISMA I + VISMA II)
- Software Lizenzen des C-Compilers für den TriCore Controller
- Erweiterung des Impedanzspektroskopie-Messplatzes
- Kleinwindkraftanlage mit Photovoltaik, Batteriespeicher und Backup-Aggregat zur Inselversorgung

### **3.2 Projektblätter**

Die folgende Übersicht und die sich anschließenden neuen bzw. aktualisierten Kurzbeschreibungen der von den wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführten Forschungstätigkeiten geben Auskunft über den derzeitigen Stand der laufenden Projekte.

## Projektübersicht

---

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann  
Tel.: +49-5323-72-2595  
E-Mail: wehrmann@iee.tu-clausthal.de

### Arbeitsgruppe Dezentrale Energiesysteme

- **Vorausschauende Gasnetzsimulation**

Bereits im letzten Jahrhundert wurde von 1996 bis 1998 mit Unterstützung der Gasversorgung Thüringen GmbH (GVT) ein Forschungsprojekt zum Thema “Prozessbegleitende Gasnetzsimulation” durchgeführt und 1999 mit der Dissertation von Dr. Vollmer abgeschlossen. Anfang 2005 wurde ein neues Forschungsprojekt auf dem Gebiet der Gasnetzsimulation gemeinsam mit der GVT begonnen, dass den Arbeitstitel “Vorausschauende Gasnetzsimulation” trägt. Die GVT ist inzwischen in die neu gegründete EON Thüringen Energie AG (ETE) integriert; beteiligt an dem Projekt ist außerdem die Fa. PSI AG, die den zu Grunde liegenden Gasnetzsimulator (GANESI) vertreibt und Spezialsoftware für das Projekt zur Verfügung stellt. Projektziel ist, mit auf ein Mindestmaß reduzierter Mess-Infrastruktur unter Einbeziehung von Erfahrungswerten möglichst genau den kompletten Netzzustand (Knotendrucke, Fließgeschwindigkeiten, Volumenströme) zu berechnen.

Bearbeiterin: Dipl.-Ing. Cathrin Schröder

- **Dezentrales Energiemanagement-System (DEMS)**

Die erste (2-jährige) Phase des DEMS-Projektes, gefördert durch die EWE AG, wurde im Sommer 2006 abgeschlossen - der DEMS-Demonstrator 2006 stellt bezüglich der Kommunikations-Infrastruktur ein Zwischenergebnis dar. Das DEMS-Projekt ist inzwischen von 9 auf 14 Teilprojekte in den 3 Projektgruppen “Bezugsoptimierung” (6), “IT für DEMS” (5) und “Netzstabilität” (3) gewachsen. Beteiligt sind neben der EWE AG die BTC AG, die Universitäten Clausthal, Hannover und Oldenburg, die FH Wilhelmshaven und OFFIS als An-Institut der Uni Oldenburg. Die zweite Projektphase (2006-08) ist für die beiden Projekte des IEE (“Bezugsoptimierung ...”, “Prozessmodell ...”) durch einige strukturelle Änderungen gekennzeichnet. So wird z.B. im Rahmen der Bezugsoptimierung ein für die Erprobung der Algorithmen erforderlicher Anlagensimulator entwickelt. Beim Teilprojekt Prozessmodell wurde der Aufgabenschwerpunkt von der reinen Netzsimulation auf das Thema “Knotenlastprognose” verlagert.

Bearbeiter: Projekt BO4, Day-ahead-Einsatzplanung: Dr.-Ing. Aimé Mbuy

---

Projekt BO4, Dispatcher-Assistent: Dipl.-Ing. Arnuphap Dowrueng  
Projekt NM1, Prozessmodell: Dipl.-Ing. Jens zum Hingst

- **Virtuelles Kraftwerk Harz**

Die Laufzeit dieses Projekts konnte bis zum 31.07.2007 verlängert werden, vor allem mit dem Ziel, weitere Messdaten der dezentralen Kleinerzeuger (Mini-BHKW) einbeziehen zu können. Während des Projektes hat sich mit den so genannten "Synthetischen Produktionsprofilen" ein wichtiger neuer Ansatz ergeben, mit dem sich bei einer sehr großen Zahl von Einzelanlagen der technische Aufwand und die Kosten für Kommunikationsaufgaben in Grenzen halten lassen. Wichtig für diesen Ansatz, der z.T. analog zu den VDEW-Standardlastprofilen betrachtet werden kann, ist eine möglichst große Basis an Messdaten, die über den verlängerten Projektzeitraum erfasst werden soll.

Bearbeiter: Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt

- **Energiepark Clausthal / Forschungsverbund Energie Niedersachsen**

Ein aktuelles Forschungsthema wird vom Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN) bearbeitet, an dem fünf Hochschulen und zwei außeruniversitäre Institute beteiligt sind: Das Zusammenwirken des bisher in Niedersachsen schon stark ausgeprägten und zukünftig noch nennenswert wachsenden Anteils dezentraler, im Wesentlichen regenerativer Energie mit den schon etablierten Versorgungsstrukturen. Dabei wird auf elektrischer Seite ein wesentlicher Schwerpunkt auf das Niederspannungsnetz gelegt, an das eine hohe Zahl von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) angeschlossen ist, das aber unter diesem Aspekt bisher kaum berücksichtigt wurde.

Einen wesentlichen Kristallisationspunkt des FEN stellt der schon existente Energiepark Clausthal dar. Dieser wurde als Verbundprojekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter der Bezeichnung „Lehr- und Demonstrationsanlage für dezentrale regenerative Energieversorgungssysteme" gefördert. Projektpartner: CUTEC-Institut GmbH, TU Clausthal und Stadtwerke Clausthal-Zellerfeld GmbH. Der Gebäudekomplex des CUTEC-Instituts kann mit dem Energiepark elektrisch vollständig und thermisch additiv mit erneuerbarer Energie versorgt werden. Für die elektrische Energie ist hierunter nicht nur ein Bilanzausgleich über größere Zeiträume, sondern die dynamische Versorgung mit regenerativer Energie und Leistung im Sekundenbereich zu verstehen. Einen Sonderfall stellt der Inselnetz-Betrieb dar, bei dem das CUTEC-Institut vollständig vom öffentlichen elektrischen Versorgungsnetz getrennt wird. Genutzt werden sowohl die nicht beeinflussbaren Energieressourcen Windkraft, Wasserkraft und Photovoltaik als auch speicherbare Energieformen der Biomasse in festem, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand. Diese unterschiedlichen Energieträger müssen zur Versorgung des CUTEC-Institutes optimal kombiniert und



## Projektübersicht

---

entsprechend ihrem Potenzial genutzt werden. Ein Leitsystem mit integriertem Energiemanagement und eine elektrische Energiekonditionierungsanlage mit integriertem Speichersorgen für den dynamischen Ausgleich zwischen CUTEC-Last und Erzeugerleistung.

Damit stellt der Energiepark Clausthal ein regenerativ gespeistes elektrisches Niederspannungsnetz in Form eines so genannten Micro- oder Smartgrids als Untersuchungssystem für den FEN zur Verfügung.

Während der Aufbauphase des Energieparks zeigten sich Stabilitätsprobleme beim Parallelbetrieb von verschiedenen BHKW im Inselnetzbetrieb. Diese werden im FEN-Projekt intensiv analysiert und sollen mit Hilfe einer "Virtuellen Synchronmaschine" (VISMA) kompensiert werden.

Bearbeiter:   Dipl.-Ing. Arnuphap Dowrueng (Leitsystem Energiepark)  
                   Herr. Richard Koschnik (Energiekonditionierer und Kraftwerksmodule Energiepark)  
                   Dr.-Ing. Oleg Osika (Stabilität in Microgrids)  
                   Dr.-Ing. Ralf Hesse (VISMA)

- **Grundlast Nordsee**

Das Projekt stellt eine auf ein Jahr ausgelegte, am 01.12.06 startende, Machbarkeitsstudie im Auftrag des Bundesumweltministeriums dar, unterstützt durch die EWE AG. Untersucht werden soll die Möglichkeit, das fluktuierende Windleistungsangebot von Offshore Windparks einerseits mit unter der Nordsee vorhandenem so genannten "Schwachgas" zu kombinieren, das offshore verstromt wird, und andererseits mit Druckluft-Speicherkraftwerken auszugleichen. Dadurch kann eine Vergleichmäßigung des Gesamt-Leistungsverlaufes und somit eine Reduzierung der durch Windenergie hervorgerufenen Regelleistung bzw. die Vermeidung so genannter "Schattenkraftwerke" erreicht werden. An dem Projekt sind 6 Institute der TU Clausthal beteiligt, die das technische, ökonomische und ökologische Potenzial dieser Idee analysieren.

Bearbeiter: Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt

- **ELAN - Energy Management**

E-Learning Academic Network Niedersachsen (ELAN) ist ein Programm des niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur zur nachhaltigen Förderung des Multimedia-Einsatzes in Lehre, Studium und Weiterbildung. Es soll bis 2006 ein Szenario von alltagstauglichen multimedialen und telematischen Studienangeboten erstellt werden.

Drei inzwischen landesweit etablierte „ELAN-Piloten“, Uni Oldenburg/Osnabrück, Uni und MH Hannover/TU Braunschweig und Uni Göttingen/TU Clausthal, die durch besondere Erfahrung und Expertise ausgewiesen sind, legen Rahmenbedingungen fest und stellen

---

Infrastrukturen zur Verfügung.

Auf dieser Basis arbeiten weitere “ELAN-Partner”-Projekte, die konkrete Anwendungen umsetzen. Hier ist das IEE-Projekt Energy-Management angesiedelt, dass in Abstimmung mit der Uni Oldenburg gemeinsam nutzbare Lehrelemente erstellt, die als “Laborausstattung” den Energiepark Clausthal einbeziehen.

Bearbeiter: Dr.-Ing. Aimé Mbuy

**Problem:** Die Öffnung und Liberalisierung des deutschen Erdgasmarktes durch die Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) stellt an die Gasversorgungsunternehmen viele neue Anforderungen wie z.B. die Entkopplung von Handel und Netzbetrieb, die Durchleitung von nominierten Mengen und Leistungen durch die Netze, der Zugang zu freien Speicherkapazitäten und die Gewährleistung eines objektiven, diskriminierungsfreien und transparenten Netzzuganges.

Die effiziente Umsetzung dieser unternehmensübergreifenden neuen Aufgaben setzt eine genaue Kenntnis des Gasnetzzustandes voraus. Üblicherweise können dies Leitsysteme von regionalen Gasverteilnetzbetreibern nicht leisten, da die Ausstattung mit der dafür nötigen Messinfrastruktur nicht vorhanden ist bzw. der Aufbau finanziell zu aufwendig wäre. Der Einsatz einer vorausschauenden Gasnetzsimulation, die einen in naher Zukunft liegenden Prozesszustand wiedergibt, erscheint zur Unterstützung des Dispatchings zusätzlich zum herkömmlichen Leitsystem sinnvoll. Unabhängig vom Steuerprozess des Gasnetzes können so sowohl prozessbegleitend die Drücke und Flüsse bestimmt, als auch ein voraussichtlicher Zustand mit Hilfe einer Prognose der Zuspeisungen und Abnahmen ermittelt werden. Eine vorausschauende Gasnetzsimulation dient neben der Verbesserung der Kenntnis über den Gasnetzzustand auch dazu, den Gasbezug und die Netzsteuerung zu optimieren, freie Kapazitäten zu berechnen und Spotmengen einzuplanen.

**Ziel:** Entwicklung einer stabilen und hinreichend genauen prozessbegleitenden Gasnetzsimulation für regionale Gasverteilnetze mit nicht vollständiger Messinfrastruktur für den Einsatz im Online-Betrieb als Basis für eine vorausschauende Gasnetzsimulation.

**Stand der Technik:** Derzeit werden Gasnetzsimulationen vorwiegend in Transportnetzen (Bild 1) eingesetzt. Gastransportnetze zeichnen sich durch eine sehr gut ausgestattete Messinfrastruktur aus, so dass durch die häufig vorkommende Überbestimmtheit mit einer entsprechenden Gasnetzsimulationssoftware sogar eine Leckerkennung möglich ist. Im Gasverteilnetzbereich (Bild 2) ist bei stark vermaschten Gasnetzen jedoch die Ausstattung mit der erforderlichen Messinfrastruktur, d. h. einer Online-Messung sämtlicher Abnahmen (Ortschaften,

---

Sondervertragskunden) und aller vorhandenen Einspeisungen (Übernahmestationen, Überschleusungen) in einem festen relativ kurzen Zyklus z. B. im 15-Minuten-Takt mit Datenfernübertragung in die Netzleitstelle, meistens nicht vorhanden. Daher kann die handelsübliche Software ohne Abänderungen nicht verwendet werden.

Bisher wurde in diesem Projekt die anerkannte Gasnetzsimulationssoftware PSIGanesi der PSI AG modifiziert eingesetzt, so dass zumindest die Summe der nicht gemessenen Abnahmen als so genannte Fehlmenge berechnet werden kann. Da diese Fehlmenge wie eine Abnahme an einem ausgewählten "Teilnetz-knoten" behandelt wird, was der Realität nicht annähernd entspricht, kann diese Simulation nicht die realen Fließzustände in den Rohren wiedergeben. Zusätzlich ist es nicht möglich, die nicht gemessenen Abnahmen aus der Fehlmenge zu rekonstruieren.

Der Einsatz einer Netzsimulation im Gasverteilnetz ist aufgrund der aufgeführten Gründe eher unüblich. Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen hat sich jedoch ein Bedarf an softwareseitiger Unterstützung ergeben.

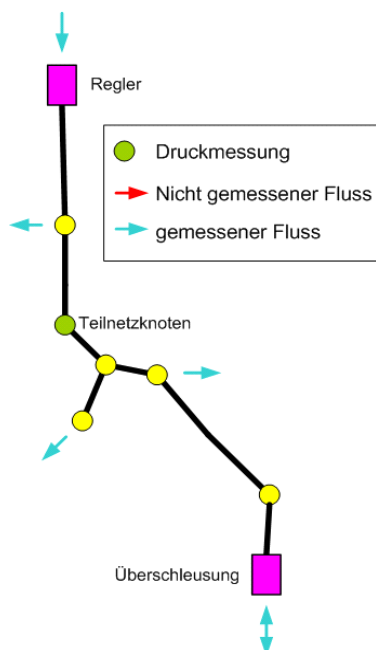


Bild 1: Schema eines Gas-transportnetzes

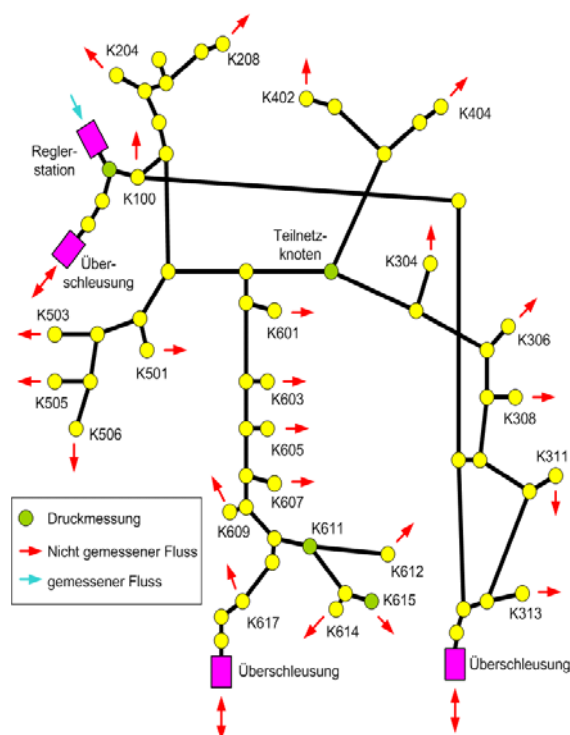


Bild 2: Schema des untersuchten Gasverteilnetzes

**Projekt:**Vorausschauende Gasnetzsimulation

---

**Lösungsweg:**

Für die sich durch die Liberalisierung ergebenden Aufgaben ist die Berechnung einer Teilnetzfehlmenge nicht mehr ausreichend bzw. ist es zur Unterstützung des Dispatchings hilfreicher, eine "rohrauflösende" Simulation für Gasverteilnetze zu entwickeln. Um die prozessbegleitende Simulation zu verbessern, erscheint es essenziell, die Messinfrastruktur zu erweitern. Es ist ein Ziel dieses Projektes, ein Verfahren zu entwickeln, das eine Messstellenkonfiguration für Teilnetze bezüglich Lage und Anzahl unter Berücksichtigung der Kosten des Ausbaus und der Simulationsgenauigkeit der prozessbegleitenden Simulation optimiert. Dazu wird das Gasnetz als regelungstechnisches System betrachtet und auf Beobachtbarkeit bzw. Rekonstruierbarkeit untersucht. Da die Beobachtbarkeit im klassischen Sinne entweder für ein System gegeben oder nicht gegeben ist, wird ein quantitatives Maß gesucht, das die Güte der Beobachtbarkeit wiedergibt.

Zur weiteren Verbesserung der Simulationsergebnisse wird versucht, die auch nach dem minimalen Ausbau der Messinfrastruktur nicht gemessenen Abnahmen nachzubilden. Dazu werden die nicht gemessenen abgehenden Volumenströme, die aus regelungstechnischer Sicht fehlende Randwerte bei der Simulation darstellen, mit Hilfe eines Knotenlastbeobachters (Bild 3) approximiert. Zur Verbesserung des zeitlichen Einschwingverhaltens wird mit Hilfe von vorab vorhandenem Erfahrungswissen der Knotenlastbeobachter um eine Vorsteuerung mit den Variationen konstante Abnahme, skaliertes realer Verlauf und Zeitreihenvorgabe auf Basis der Lastprofile erweitert, die an der TU München entwickelt wurden.

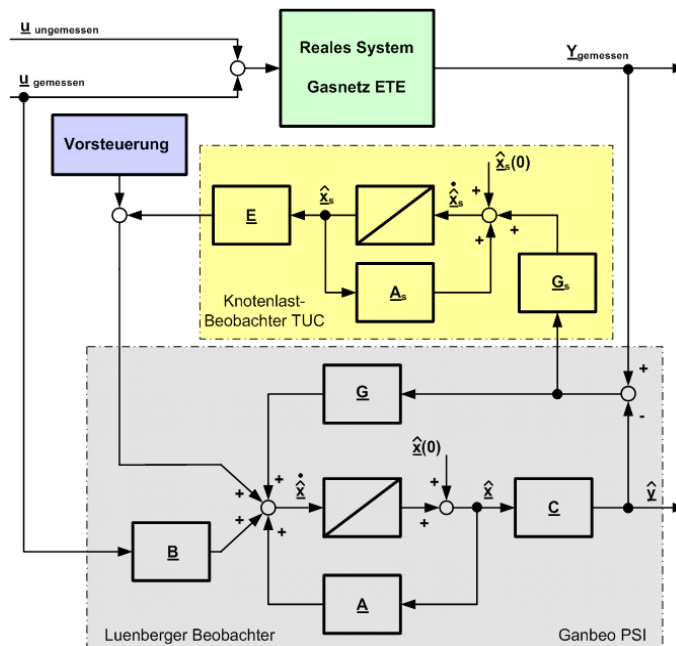


Bild 3: Strukturdiagramm des Knotenlastbeobachters

### Projektstand:

Um die Untersuchungsergebnisse dieses Projektes zu validieren, wurde ein charakteristisches Teilnetz der E.ON Thüringer Energie ausgewählt und von E.ON vollständig mit der erforderlichen Messinfrastruktur ausgestattet. Seit September 2006 sind alle Messstellen installiert. Damit sind vollständige Messdatensätze für das Untersuchungsteilnetz vorhanden. Trotz vollständiger Messinfrastruktur ergab sich eine relativ große Fehlmenge bei der Simulation des Teilnetzes. Seit Januar 2007 stehen konsistente, im Rahmen der Messgenauigkeit liegende Messdaten zur Verfügung.

Die auf dem Markt erhältlichen Simulationsprogramme ermöglichen nicht in ausreichendem Maße die hier durchgeführten Untersuchungen. Aus diesem Grund wurde eine Simulationsumgebung in Zusammenarbeit mit der PSI AG entwickelt und von der PSI AG (Bild 4) bereitgestellt, damit einerseits Messdaten und daneben zusätzlich künstlich erzeugte Daten (Zeitreihen von Abnahmen und Knotendrücken) für die Simulation bereitgestellt werden können. Weiterhin ist die Gasnetzsimulation direkt an eine Prognose der Abnahmen und Einspeisungen angekoppelt. Mit Hilfe dieser Simulationsumgebung wurden mit den realen Messdaten aus dem Frühjahr 2007 Untersuchungen zu einer minimalen Messinfrastruktur durch-

geführt, d. h. durch sukzessives Ersetzen der Messstellen durch Ersatzwerte auf Basis der “Münchner Lastprofile” wurde experimentell eine in Lage und Anzahl optimierte Messinfrastruktur bestimmt, die weiterhin eine den Ansprüchen genügende Genauigkeit ermöglicht.

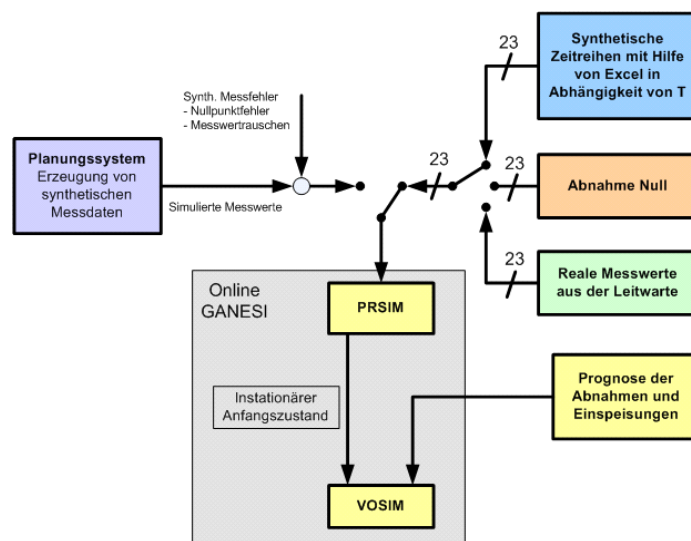


Bild 4: Struktur des im Rahmen des Projektes entwickelten Untersuchungssystems der PSI AG

Zur theoretischen Bestimmung einer minimalen Messinfrastruktur wurden weiterhin für das charakteristische Untersuchungsteilnetz (Bild 2) die Systemmatrizen aufgestellt. Eine umfassende Analyse dieser Systemmatrizen in Bezug auf Dominanz und Übertragungsverhalten soll dazu dienen, Rückschlüsse auf die Messinfrastruktur zu ziehen und diese zu optimieren.

Zur Untersuchung der Nachbildung der trotz optimierter Messinfrastruktur weiterhin nicht gemessenen Abnahmen wurde in Matlab und Simulink eine Gasnetzsimulation von einem kleinen Gasverteilstnetz (Bild 5) mit Luenberger Beobachter und Knotenlastbeobachter implementiert. Das untersuchte Beispielnetz besitzt 8 Knoten, 7 Rohre, 4 Abnahmestationen an den Randknoten und eine Zuspeisung in K1.

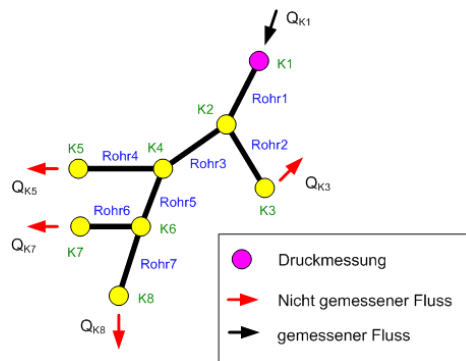


Bild 5: Ausschnitt und beispielhaftes Messinfrastrukturszenario des ausgewählten Untersuchungsteilnetzes mit der Systemordnung 15 zur Untersuchung des Knotenlastbeobachters

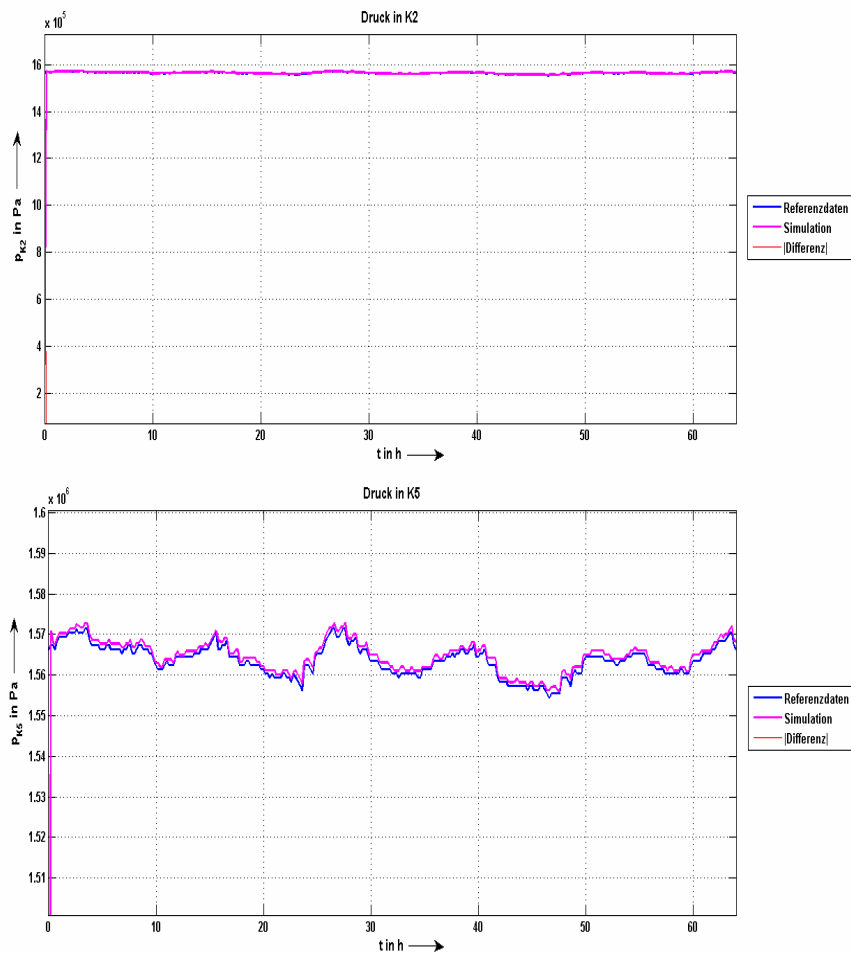


Bild 6: Knotendruck in K2 im Bereich 0 bis 16 10<sup>5</sup> Pa und K5 höher aufgelöst von 15 10<sup>5</sup> bis 16 10<sup>5</sup> Pa



Die im Folgenden dargestellten Simulationsergebnisse ergeben sich bei dem in Bild 5 dargestellten Messinfrastrukturszenario, d. h. bei vier nicht gemessenen Abnahmen in K3, K5, K7 und K8, einer gemessenen Zuspeisung und einer Druckmessung in K1. In Bild 6 ist beispielhaft der gemessene als Referenz verwendete Knotendruck in blau und die durch das Simulationssystem in Bild 3 berechnete Knotendruck in lila in zwei verschiedenen Auflösungen dargestellt. Trotz vier nicht bekannter Abnahmen, die durch den Knotenlastbeobachter nachgebildet werden müssen, ergeben sich den Genauigkeitsansprüchen genügende Simulationsergebnisse für die Rohrflüsse in Bild 7 und Bild 8. In Bild 9 werden die Nachbildungen der vier nicht gemessenen Abnahmen durch den Knotenlastbeobachter mit der entsprechenden Vorsteuerung dargestellt.

Die bisherigen Ergebnisse sind äußerst vielversprechend und ermöglichen vermutlich den Einsatz des Beobachters in Gasverteilnetzen mit nicht vollständiger Messinfrastruktur. Die Umsetzung auf ein komplexeres größeres Teilnetz ist mit dem Ziel in Bearbeitung, die Robustheit und Einsatzgrenzen zu ergründen.

**Projektpartner:** E.ON Thüringer Energie AG, Erfurt  
PSI AG, Berlin

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Cathrin Schröder (Tel: 72-3736)  
schroeder@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

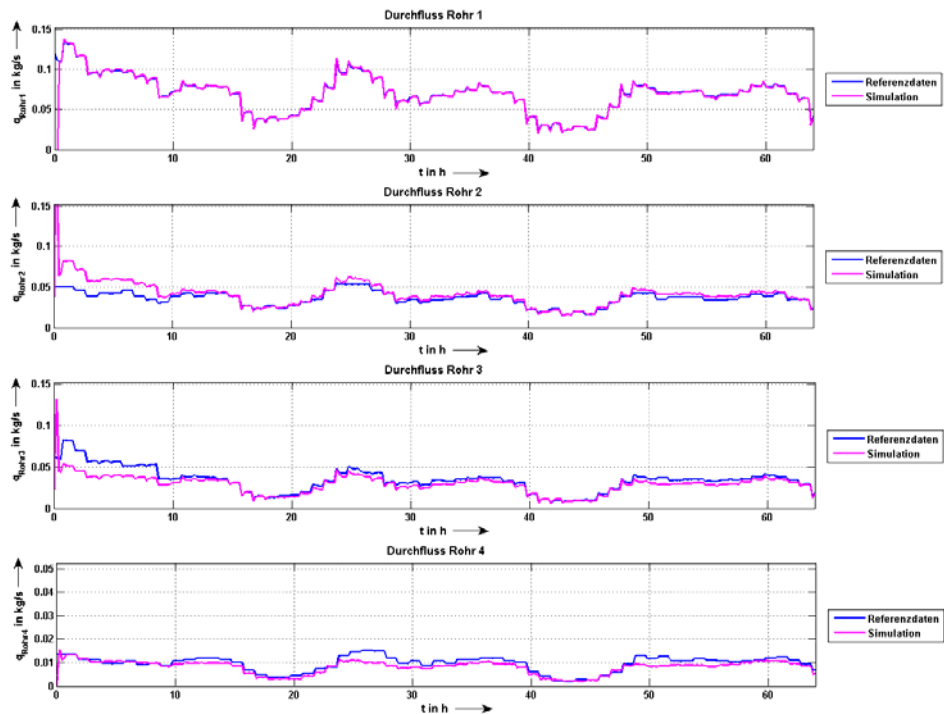


Bild 7: Rohrflüsse 1 bis 4 für die Simulation mit vier nicht gemessenen Knotenabnahmen

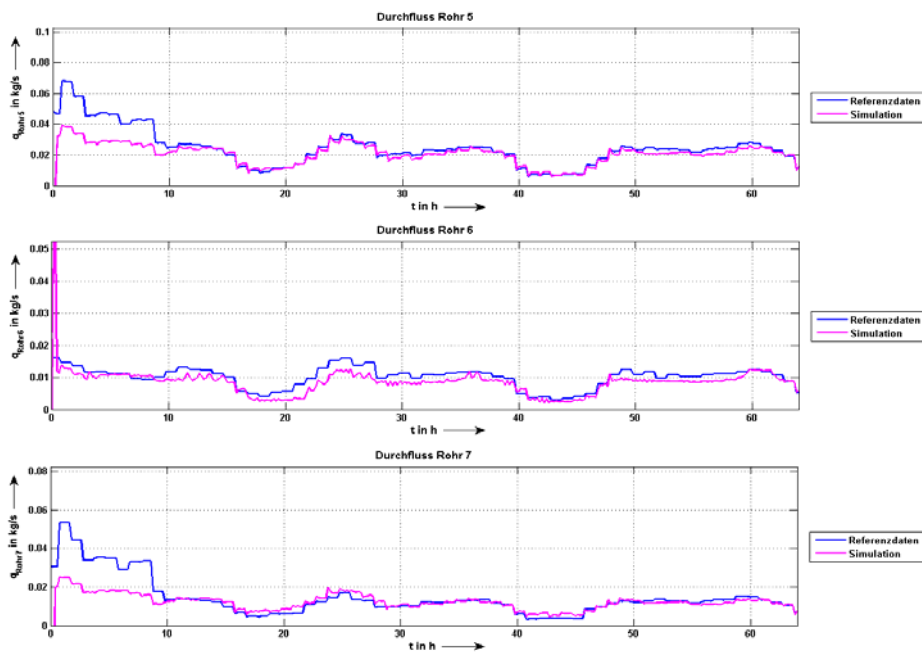


Bild 8: Rohrflüsse 5 bis 7 für die Simulation mit vier nicht gemessenen Knotenabnahmen

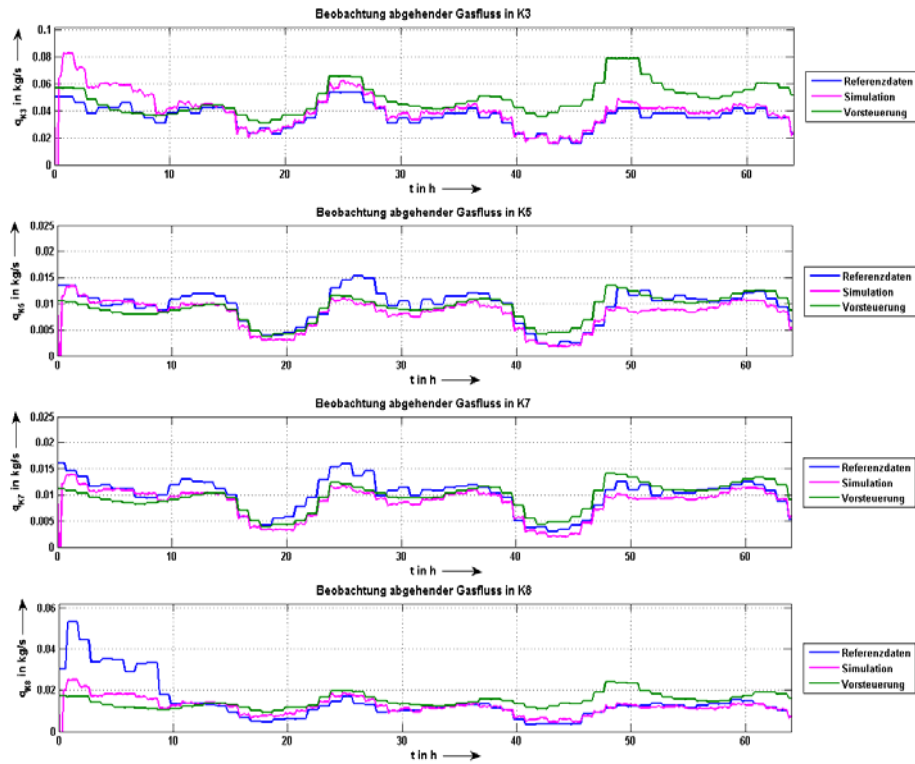


Bild 9: Beobachtung der vier nicht gemessenen abgehenden Gasflüsse in K3, K5, K7 und K8



<b>Projekt:</b>	Bezugsoptimierung und Netzstabilität mit Speichereinsatz: Day ahead Einsatzplanung
<hr/>	
<b>Problem:</b>	Im Rahmen des EWE-DEMS Projekt ist ein Energiemanagement dezentraler Erzeuger als Entscheidungsunterstützungssystem für den Systemoperatoren zu entwickeln und zu erproben. Das Energiemanagement benötigt Prognose und Planungen, um ein effizientes Management der Energieressourcen zu erreichen. In diesem Teilprojekt spielt die Untersuchung des Einsatzes von beeinflussbaren dezentralen kleinen und mittleren Anlagen zum Ausgleich der Schwankungen der regenerativen unbeeinflussbaren Anlagen wie Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen eine große Rolle. Das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch unter Berücksichtigung der Kosten ist dabei immer einzuhalten.
<b>Ziel:</b>	Konzeption und Entwicklung eines Algorithmus und seine Implementierung als Optimierungssoftwarewerkzeug zur kurzfristigen Stromkostenoptimierung durch eine Day-Ahead Einsatzplanung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Restriktionen, die von Eigenschaften der Erzeuger und der Verbraucher abhängen. Das Hauptziel ist die Kostenminimierung.
<b>Lösungsweg:</b>	Die elektrische Energieversorgung wird mit einem Mix von konventionellen und regenerativen Energiequellen modelliert. Nach der Analyse von Komponenten des elektrischen Energieversorgungssystems und ihrem Verhalten werden die Variablen definiert, es wird eine Zielfunktion zur Kostenminimierung erstellt und die Restriktionen als Nebenbedingungen sind mathematisch zu formulieren. Nach der Erstellung des mathematischen Modells wird ein Optimierungsverfahren unter Berücksichtigung der Problemklasse ausgewählt und verwendet, um das Problem mathematisch zu lösen.
<b>Projektstand:</b>	Eine erste Version des Optimierungsalgorithmus wurde konzipiert und implementiert. Sie wurde als Einsatzplanungssoftware getestet, und besteht aus den 3 Hauptteilen: Eingangsschnittstelle (Bearbeitung der Eingangsdaten), Berechnungskern (Anwendung des Optimierungsalgorithmus) und Ausgangsschnittstelle (Bearbeitung der Ausgangsdaten und Visualisierung).

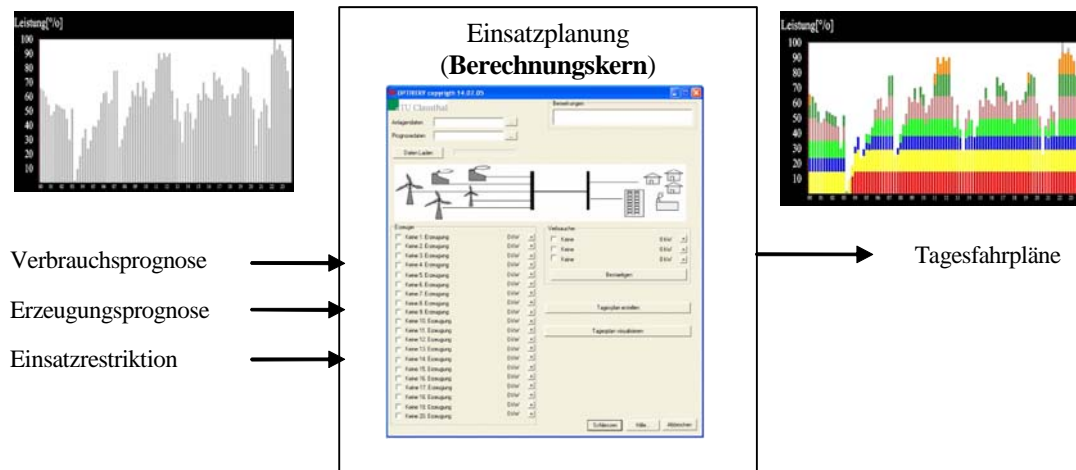


Bild 1: Eingabe, Berechnung und Ausgabe der Planungssoftware

- Eingangsdaten: Verbrauchs-, Erzeugungsprognose und Einsatzrestriktion (die Grenzbedingungen oder Einsatzrestriktion werden als Nebenbedingungen aus Sicht der optimalen Betriebsplanung berücksichtigt).
- Berechnungskern (Optimierungsalgorithmus): Die Tagesplanung stellt sich als ein kombinatorischen Problem dar. Das Ergebnis ist die Minimierung einer Zielfunktion, die mit ihren Variablen und Nebenbedingungen in mathematischer Form definiert wird:

Zielfunktion

$$C = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{n=1}^N (C_{nt}^f + C_{nt}^{nf}) + C_t^{fremd} \right) \rightarrow \min$$

Nebenbedingungen

$$\begin{aligned} L \min_n &\leq L_n \leq L \max_n \\ X_{nt} &\in \{0,1\} \\ \text{usw.} \end{aligned}$$

**Projekt:** Bezugsoptimierung und Netzstabilität mit Speichereinsatz:  
Day ahead Einsatzplanung

Wobei	$C$ :	gesamte Betriebskosten
	$T$ :	Länge des Planungshorizontes
	$N$ :	Anzahl der Anlagen
	$C_{nt}^f$ :	Fixkosten des eigenen Erzeugers $n$ im Zeitschritt $t$
	$C_{nt}^{nf}$ :	variable Kosten des eigenen Erzeugers $n$ im Zeitschritt $t$
	$C_t^{fremd}$ :	Kosten des fremden Erzeugers im Zeitschritt $t$
	$L_n$ :	Wirkleistung des Erzeugers $n$
	$L_{min_n}, L_{max_n}$ :	Unter- und Obergrenzen der Wirkleistung des Erzeugers $n$
	$X_{nt}$ :	die Verfügbarkeit des Erzeugers $n$ im Zeitschritt $t$

Die Optimierungslösung mit den Kosten als Hauptkriterium wird mit Hilfe eines auf dem Branch & Bound Verfahren basierten Algorithmus gesucht

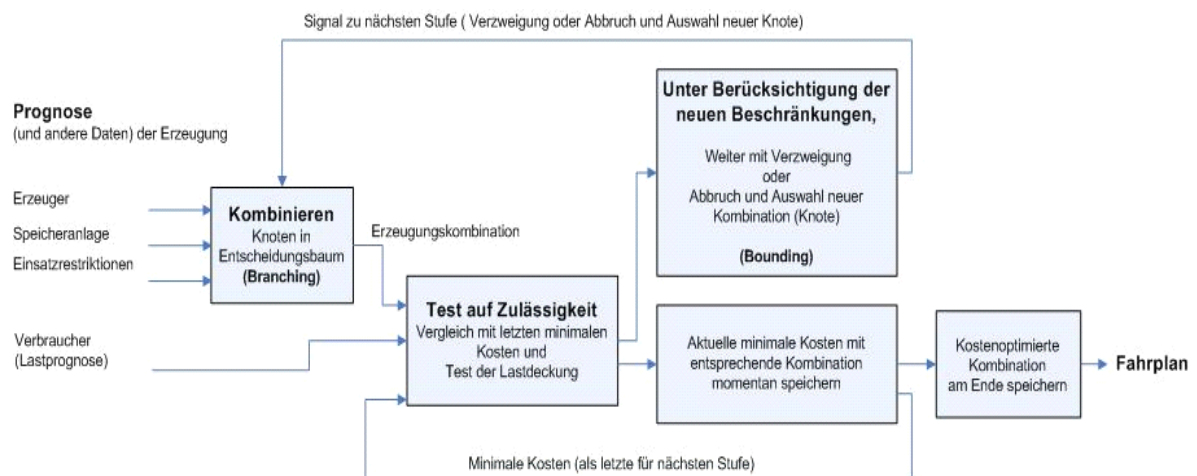


Bild 2: Optimierungsverfahren zur Einsatzplanung

- Ausgangsdaten (Ausgangsinformationen und deren Visualisierung)

Das Ergebnis der Berechnung steht als kostenoptimierter Wert zur Verfügung und muss in ein geeignetes Format konvertiert werden. Die Ausgangsdaten sind für das Netzstabilitätsprüfungsmodul aufbereitet.

Nach Szenarien und mit minimalen Restriktionen (Betriebszeitbegrenzung, Leistungsbereich, Verfügbarkeit) liegt die Rechenzeit

---

der Einsatzplanung von 100 Anlagen zwischen 2 Sekunden und 5 Minuten. Es gibt “integrale” Nebenbedingungen (z. B. minimale Pausenzeit), die die Rechenzeit exponentiell erhöhen. Die Untersuchung geeigneter mathematischer Verfahren ist noch nicht abgeschlossen.

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Aimé Mbuy (Tel: 72-3702)  
mbuy@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)



<b>Projekt:</b>	Bezugsoptimierung und Netzstabilität mit Speichereinsatz: Online-Dispatcherassistent
<hr/>	
<b>Problem:</b>	Im Rahmen des EWE-DEMS Projekts ist ein Energiemanagement der dezentralen Erzeuger als Entscheidungsunterstützungssystem für den Dispatcher zu entwickeln und zu erproben. Das Versorgungsgebiet wird in getrennte Teilversorgungsgebiete unterteilt, die an ein übergeordnetes 110 kV Netz angeschlossen und nur darüber indirekt verbunden sind. Das Teilprojekt behandelt zunächst die Bezugsoptimierung eines virtuellen repräsentativen Teilversorgungsgebiets anhand (dispositionierter) Leistungstagesganglinien am Umspannwerk. Der Schwerpunkt liegt bei der Untersuchung des Einsatzes von beeinflussbaren dezentralen kleinen und mittleren Anlagen zum Ausgleich der Schwankungen der regenerativen unbeeinflussbaren Anlagen wie Windenergieanlagen und Photovoltaikanlagen sowie die Einhaltung des gemeldeten Fahrplans. Die beeinflussbaren dezentralen kleinen und mittleren Anlagen sind z. B. Biogasanlagen oder kleinere Blockheizkraftwerke, die als Heizungsanlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern und Industriebetrieben eingesetzt werden. Auch der Einsatz von abschaltbaren Verbrauchern sowie von Speichern wird untersucht.
<b>Ziel:</b>	Das Teilprojektziel ist die Konzeption und die Entwicklung eines Softwaresystems zur online laufenden Momentanoptimierung in verschiedenen Betriebsarten (manuell, halbautomatisch, automatisch) mit genehmigten Fahrplänen und korrigierten (intraday) Prognosen. Bei der Momentanoptimierung steht die Versorgungssicherheit (bei minimalen Betriebskosten) im Vordergrund.
<b>Stand der Technik:</b>	Für eine in Echtzeit laufende Momentanoptimierung gibt es zum Teil Softwaremodule am Markt, die Messwerte von SCADA-Systemen überwachen. Der überwiegende Teil zielt jedoch ausschließlich auf die Einhaltung des am Vortag gemeldeten Fahrplans und bietet meist Schnittstellen zum Spotmarkt. Eigenerzeugungsanlagen werden meist nicht berücksichtigt. Hierfür sollen sehr schnelle Verfahren wie z. B. Prioritätslistenverfahren, auch in Kombination mit einer Einsatz-Kosten-Optimierung benutzt werden.
<b>Lösungsweg:</b>	Bild 1 zeigt den Regelkreis des Online-Dispatcherassistenten. Der Abrechnungszeitraum von 15 Minuten stellt das jeweils zu optimierenden Zeitintervall dar. Innerhalb dieses Optimierungsintervalls

---

wirkt der Online-Dispatcherassistent als Online-Regler und arbeitet im Closed-Loop-Betrieb, sofern die vorzunehmenden Eingriffe innerhalb eines vorher festgelegten Kompetenzbereichs liegen. Der angestrebte Regelzyklus beträgt 2 Minuten. Wird der Kompetenzbereich überschritten, schaltet der Dispatcherassistent in den Open-Loop-Betrieb und legt dazu dem Dispatcher einen Handlungsvorschlag vor.

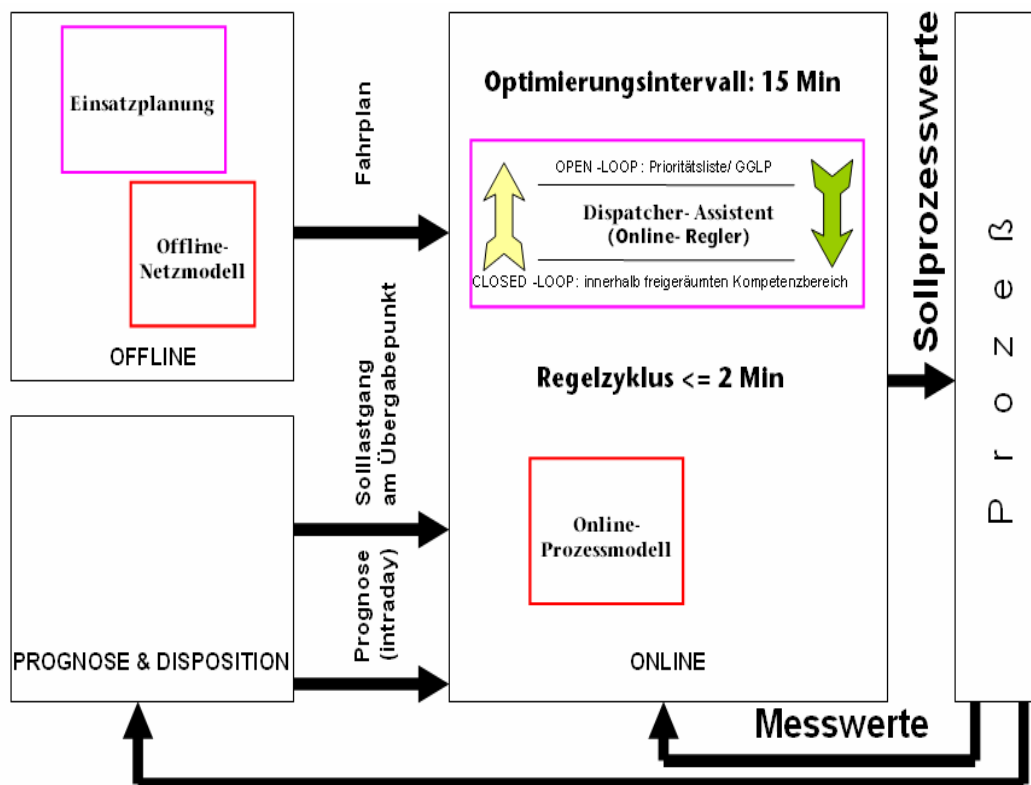


Bild 1: Konzept des Online-Dispatcher-Assistenten

#### Projektstand:

Parallel zum Software-Benchmarking fand die Erprobung zweier Softwaremodule statt, die am IEE vorhanden sind bzw. erstellt werden. Es handelt sich um einen Branch-and-Bound-Rechenkern und ein Prioritätslistenverfahren. Ein Prototyp nach Bild 1 wurde mit dem Prioritätslistenverfahren erstellt und im Energiepark Clausthal erprobt.

**Projekt:** Bezugsoptimierung und Netzstabilität mit Speichereinsatz:  
Online-Dispatcherassistent

---

Es hat sich gezeigt, dass das Verfahren, wie erwartet sehr schnell arbeiten kann und insbesondere für den Einsatz als Momentanoptimierungsmodul seine Eignung bewiesen hat.

Mit der gemischt ganzzahlig linearen Programmierung (GGLP) wurden Eignungsuntersuchungen mit der kommerziellen Optimierungsbibliothek CPLEX-GGLP der Firma ILOG durchgeführt. Dabei wurden für 200 Anlagen in einem Netzbereich folgende Anlagenrestriktionen berücksichtigt:

- Brennstoffkosten
- Wirkungsgradkennlinie (stückweise lineariert)
- Anfahrkosten (anteilige Berechnung aus den Wartungskosten)
- Mindestlaufzeit
- Mindeststillstandzeit
- Totzeit (Kommunikations- und Anregelzeit)

Die Rechenzeiten liegen innerhalb des angestrebten Zwei-Minuten-Regelzyklus.

Die erste Projektphase (zwei Jahre) wurde mit einem voll funktionsfähigen und erprobten Prototyp abgeschlossen. In der seit August 2006 laufenden zweiten Projektphase werden weitere Funktionen mit spezifischen Anlageneigenschaften verfeinert und die Systementwicklung vorangetrieben. Im Rahmen des Demonstrator-Projektes werden z. Zt. sichere und zuverlässige Kommunikationstechniken per Webservices erstellt, eingerichtet und erprobt.

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Arnuphap Dowrueng (Tel: 05321/6855-125)  
dowrueng@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)



**Projekt:** Prozessmodell des MS-EWE-Netzes

---

**Problem:** Im Rahmen des EWE-DEMS (Dezentrales Energiemanagementsystem) Projekts ist eine Simulation des Mittelspannungsnetzes der EWE durchzuführen.

Der Schwerpunkt liegt bei der Untersuchung des Systemverhaltens von dezentralen kleinen und mittleren Anlagen, die in das Mittelspannungsnetz einspeisen. Gegenwärtig stellt die Windenergie den größten Anteil dieser dezentralen Einspeisungen dar. Die maximale Leistung der installierten Windenergieanlagen liegt dabei in der Größenordnung der maximalen Last, die in diesem Netz auftritt. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass weitere dezentrale Erzeugungsanlagen in das Netz einspeisen. Dies sind zum einen weitere Windenergieanlagen, darüber hinaus aber auch Blockheizkraftwerke (z. B. Biogasanlagen oder kleinere Anlagen, die als Heizungsanlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern oder Gewerbebetrieben eingesetzt werden).

Diese vermehrte Einspeisung in das Mittelspannungsnetz, das ursprünglich als Verteilnetz geplant wurde, kann zu Problemen im Bereich Auslastung und Spannungshaltung führen. Bei der Einsatzplanung der beeinflussbaren Erzeugungsanlagen im Rahmen des DEMS Projekts sind daher die Auswirkung auf das Mittelspannungsnetz zu beachten. Weiterhin stellt die Netzsimulation erweiterte Erkenntnisse für die Entscheidung über den Netzausbau bereit.

**Ziel:** Erstellung eines dynamischen Simulationsmodells zur quasistationären Simulation des EWE-Netzes mit Lasten und Erzeugern. Insbesondere eine vorausschauende Simulation mit prognostizierten Zeitverläufen von Lasten und Erzeugern unter Berücksichtigung von Schalthandlungen.

Überprüfung von Fahrplanvorschlägen aus der Einsatzplanung für beeinflussbare dezentrale Erzeugungsanlagen aus netztechnischer Sicht.

**Stand der Technik:** Einerseits Prozessführung über das vorhandene Leitsystem, andererseits Offline-Planungssoftware zur Netzberechnung für stationär vorgegebene Netzsituationen.

Softwaresysteme zur dynamischen Netzsimulation werden derzeit typischerweise nur im Hoch- und Höchstspannungsnetz eingesetzt.

---

---

<b>Lösungsweg:</b>	<p>Einbindung eines geeigneten Softwaresystems zur quasistationären Simulation der Vorgänge im Mittelspannungsnetz unter der Berücksichtigung dezentraler Erzeugungsanlagen (Windenergieanlagen, Blockheizkraftwerke, PV-Anlagen usw.) in den Gesamtprozess eines Dezentralen Energiemanagementsystems.</p> <p>Simulation eines zukünftigen Planungszeitraums und Identifikation gegebenenfalls auftretender Verletzungen von Netzrestriktionen (Spannungshaltung oder Auslastung).</p>
<b>Projektstand:</b>	<p>Ein Softwaresystem zur Netzsimulation ist am IEE installiert und in betrieb genommen worden. Auf diesem System findet die Modellierung eines Teilnetzes der EWE mit den entsprechenden Betriebsmittelparametern statt. Mit diesem Simulationsmodell erfolgt bereits eine Simulation des Mittelspannungsnetzes für verschiedenen Last- und Einspeiseszenarien. Ein Algorithmus zur Identifikation von Grenzwertverletzungen bei der Spannungshaltung ist implementiert und wird derzeit unter Annahme von Ersatzwerten für Knotenlasten getestet.</p> <p>Zur Validierung des Simulationssystems gegenüber einem realen Prozess erfolgten Messungen am Netz- und Kraftwerkssimulator (NuK) der Fachhochschule Wilhelmshaven. Am NuK wurde dazu ein fiktives Netz aus realen (konzentrierten) Bauelementen aufgebaut und mit Lasten sowie Einspeisungen in Form von Zeitreihen beaufschlagt. Ein Modell dieses Netzes, das im Bild 1 dargestellt ist, ist mit der Simulationssoftware ebenfalls modelliert und mit den identischen Zeitreihen für Wirk- und Blindleistung simuliert wurden. Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Messwerten ergab eine weitestgehende Übereinstimmung. Abweichungen bei Leistungsströmen (vergleiche Bild 2) und –leistungen, die in der Größenordnung <math>&lt; 5 \%</math> (jeweils bezogen auf die maximal an den Abgängen gemessenen Ströme bzw. Leistungen) liegen, sind mit unterschiedlichen Bezugsspannungen an der Einspeisung zu begründen. In der Simulation ist eine konstante Speisespannung vorgegeben worden, um die am NuK durch einen Transformatorstufenschaltung in diskreten Stufen geregelte Speisespannung nachzubilden. Die Validierung am realen Prozess bestätigte somit (unter Berücksichtigung der vereinfachten Betrachtung der Speisespannung) die Simulation mit</p>

---

dem gewählten Simulationssystem.

Zur Versorgung des Simulators mit den notwendigen Eingangsdaten, dies sind Zeitreihen für Wirk- und Blindleistung an sämtlichen Netzknoten, wird eine Knotenlastprognose erarbeitet. Diese basiert auf dem gemessenen und damit prognostizierbaren Lastgang am Umspannwerk, aus dem das betrachtete Teilnetz versorgt wird. Dieser Lastgang wird auf die einzelnen Netzknoten aufgeteilt, indem die Kundenstruktur des jeweiligen Knotens zunächst durch den Ansatz von Standardlastprofilen berücksichtigt wird, die später gegen spezifische gemessene Profile ausgetauscht werden können.

Zwischenzeitlich ist der Schwerpunkt des Projekts erweitert worden. Für eine prozessbegleitende Simulation stehen in der Regel in derartigen Mittelspannungsnetzen nicht genügend Messwerte zur Verfügung und ein umfangreicher Ausbau der Messinfrastruktur ist bei derartigen Netzen mit einer großen Anzahl von Netzknoten und großer flächenmäßiger Ausdehnung kaum wirtschaftlich zu realisieren. Kenntnis über die aktuell abgenommenen bzw. eingespeisten Knotenleistungen nach Betrag und Phase an sämtlichen Ein- und Ausspeisungen dieses Netzes ist jedoch die Voraussetzung für eine Simulation. Die Ermittlung dieser aktuellen Knotenleistungen aus einer möglichst geringen Anzahl von Messwerten des Mittelspannungsnetzes und unter Einbeziehung einer Knotenlastprognose ist ein Ansatz, der im Folgenden näher erläutert wird.

Die Grundidee besteht in der Anwendung des aus der Systemtheorie stammenden Einsatzes eines Beobachters zur Ermittlung unbekannter Systemgrößen. Die klassische Beobachtertheorie für Systeme, die durch Differentialgleichungen beschrieben werden, kann dabei nicht direkt angewendet werden, da die Leistungsflüsse üblicherweise aus Strom- und Spannungszeigern berechnet werden, die sich aus der Lösung eines komplexen algebraischen Gleichungssystems ergeben. Wie gezeigt wird, ist die Einführung eines speziellen Mehrgrößenreglers erforderlich, um die in diskreten Zeitschritten quasistationär betrachteten Zustände des elektrischen Netzes zu beobachten.

Im Bild 3 wird ein System vorgestellt, dass mit diesem Mehrgrößenregler und zunächst Nutzung aller erforderlichen Messwerte aus dem realen Prozess des Mittelspannungsnetzes stabil arbeitet und den

aktuellen Netzzustand beobachtet. Dieses System wird der Ausgangspunkt für die weiteren Untersuchungen mit reduzierter Anzahl genutzter Messwerte sein. Erste Ergebnisse belegen, dass das System bei vollständiger Rückführung der Messwerte den aktuellen Netzzustand mit Hilfe des speziellen Reglers richtig rekonstruiert. Sie bilden dabei die Grundlagen für weitere Arbeiten.

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Jens zum Hingst (Tel: 72-3597)  
zum.hingst@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

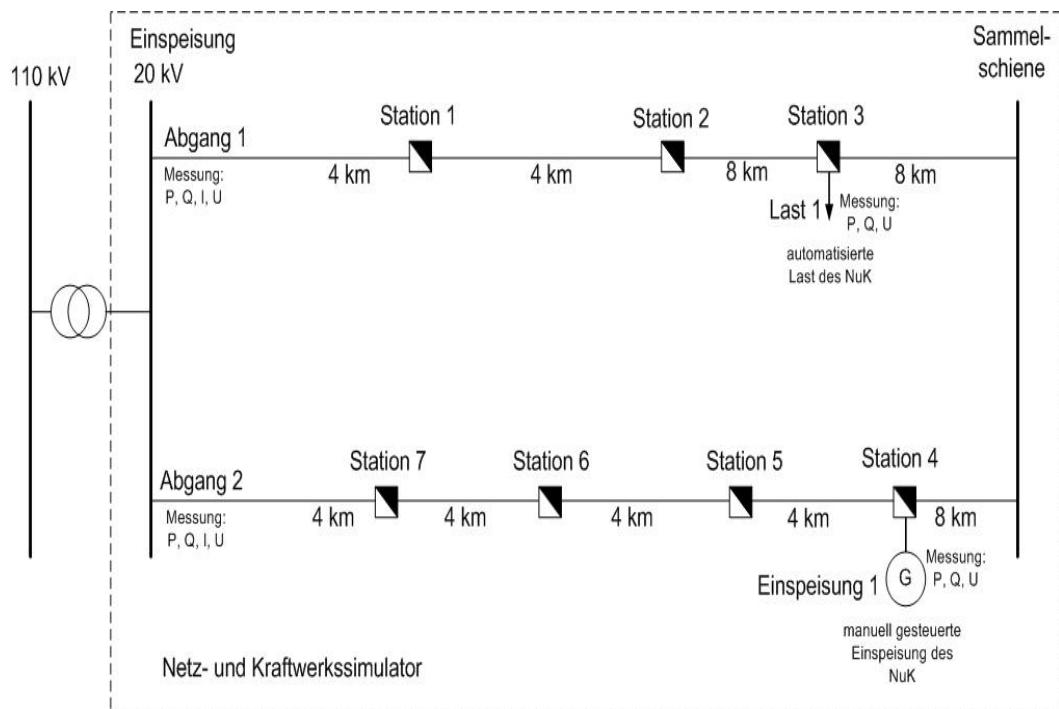


Bild 1: Modellnetz zur Validierung der Simulation gegenüber dem realen Prozess des Netz- und Kraftwerkssimulators



## Projekt:

## Prozessmodell des MS-EWE-Netzes

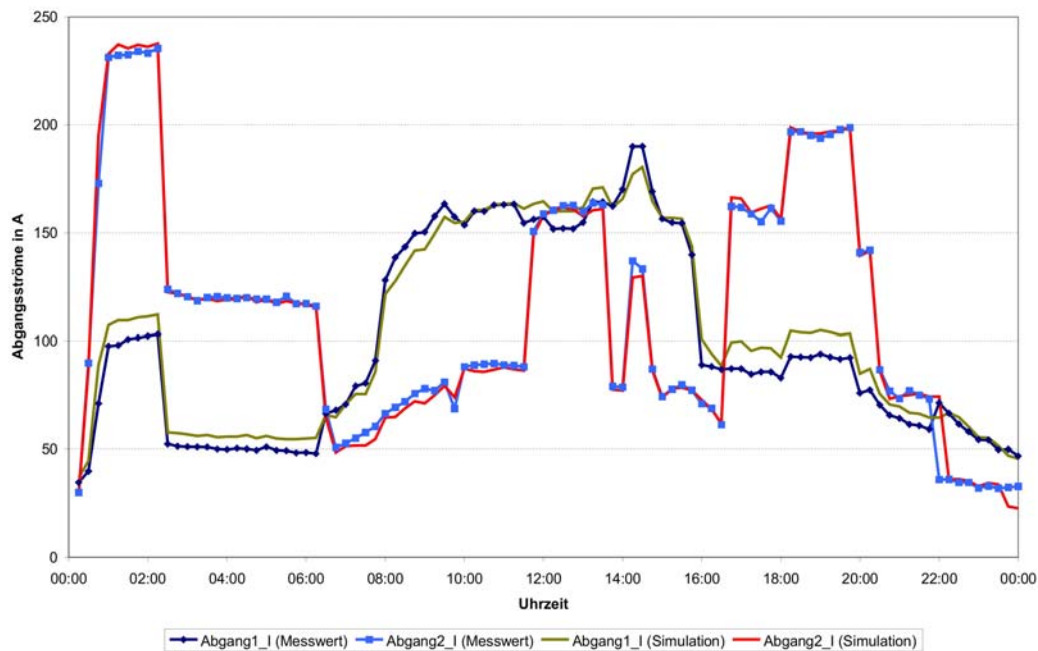


Bild 2: Vergleich von Simulation und Messung der Leitungsströme an den Abgängen der Einspeisung im Modellnetz (Abgang 1 und 2 der “Einspeisung 20 kV” in Bild 1)

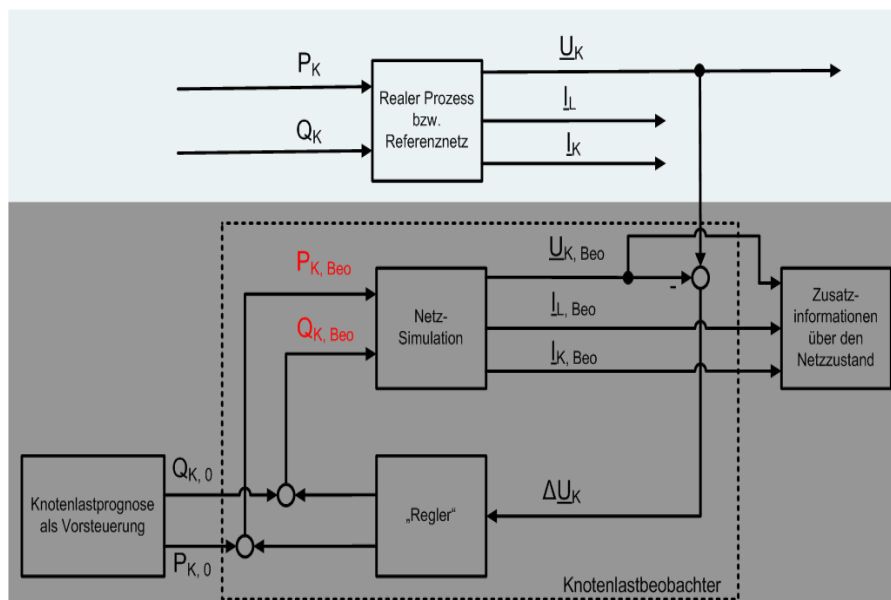


Bild 3: Blockschaltbild des Beobachters für elektrische Netze (Vergleichsgröße: komplexe Knotenspannung)



**Projekt:** Virtuelles Kraftwerk Harz

---

**Problem:** Ein stabiles elektrisches Energiesystem erfordert ein ständiges Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch. Schwankungen werden im liberalisierten deutschen Markt mit Hilfe von Regel- bzw. Ausgleichsenergie ausgeglichen. Dafür werden bislang konventionelle Großkraftwerke in Teillast betrieben, wobei sie weder volkswirtschaftlich noch ökologisch optimal arbeiten. Ein weiteres Problem ist, dass entstehende Ungleichgewichte in der Regel durch Energietransporte über das Hoch- und Höchstspannungsnetz zum Teil über große Entfernungen ausgeglichen werden. Diese Art der Nutzung der Netze müssen die Letztverbraucher mit ihren Netznutzungsentgelten zahlen, dies sind bis zu 40 % des „Strompreises“ für Haushaltskunden. Dem gegenüber werden die sich bietenden Potenziale durch dezentrale Erzeugungsanlagen, insbesondere kleine, nicht leistungsgemessene Anlagen, nicht genutzt.

**Ziel:** Durch die intelligente Vernetzung verschiedener dezentraler Stromerzeuger wird dezentral erzeugte elektrische Energie mit maximalen Gewinn verkauft und damit die wirtschaftliche Basis für den weiteren Ausbau dezentraler Stromproduktion mit erneuerbaren Energien und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) auf Basis von konventionellen Anlagen und später Brennstoffzellen geschaffen. Beim Virtuellen Kraftwerk Harz soll erstmals eine wirtschaftliche Einbindung von Mikro-KWK-Anlagen im Leistungsbereich von 5,5 kW elektrisch realisiert werden. Ziel ist es, den Projektpartnern zu ermöglichen, die Netznutzung gegenüber dem vorgelagerten Hoch- und Höchstspannungsnetzen zu regeln und damit den Bezug von Ausgleichsenergie zu minimieren und so die Netznutzungskosten zu steuern.

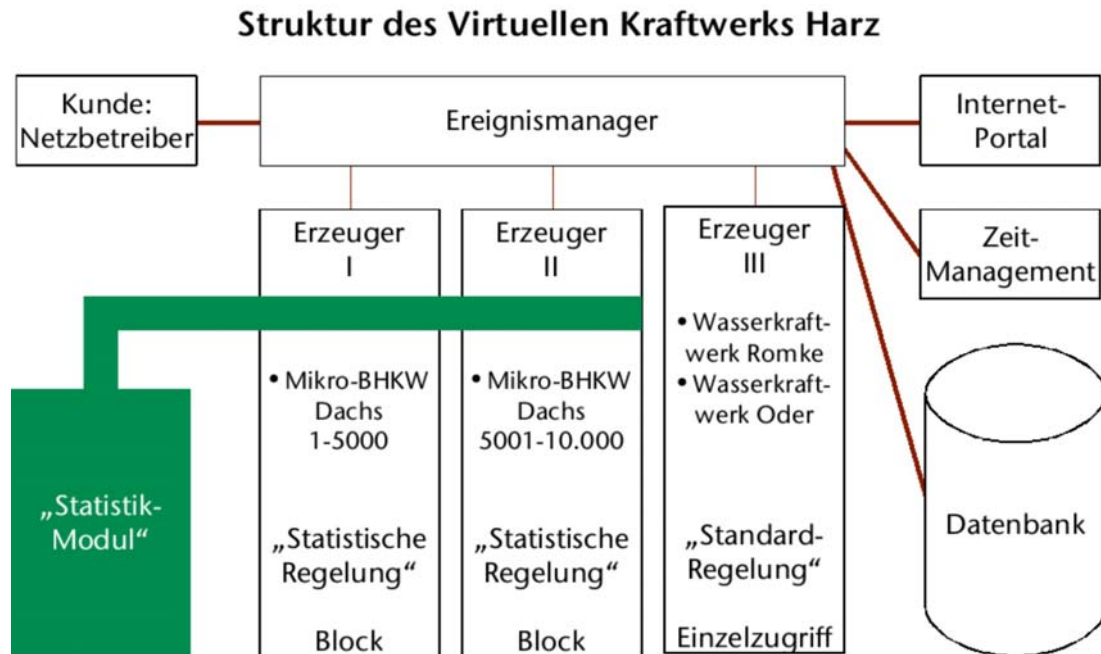


Bild 1: Schematische Darstellung der Struktur des geplanten Virtuellen Kraftwerks

**Stand der Technik:**

Das Konzept eines "Virtuellen Kraftwerks (VKW)" wird seit Jahren diskutiert. Ein VKW wird hier definiert als imaginärer Zusammenschluss von räumlich getrennten elektrischen Energieanlagen, die

- mindestens über das öffentliche Energieversorgungsnetz miteinander verbunden sind;
- eine oder mehrere Funktionen von elektrischen Kraftwerken erfüllen;
- hinsichtlich dieser Funktion eine wirtschaftliche oder technische Einheit sind.

Wie konventionelle Kraftwerke lassen sich VKWs nach den Funktionen in Grund-, Mittel-, Spitzenlast-, Regel-, Reserve- und Netznutzungskraftwerke gliedern. Bislang werden VKW mit einzelnen Erzeugungseinheiten größer als 1 MW (elektrisch) wirtschaftlich erfolgreich betrieben, kleinere Anlagen wurden zu Forschungs- und Demonstrationszwecken eingebunden.

**Lösungsweg:**

Im Rahmen des Projekts wird ein Netznutzungskraftwerk für die Harzenergie entwickelt. Technisch-wirtschaftliches Ziel ist die Opti-

mierung der Nutzung der vorgelagerten Netze. Dies führt einerseits zur Minimierung des Bedarfs an Regel- bzw. Ausgleichsenergie, andererseits zu einer Minimierung der Netznutzung gegenüber dem vorgelagerten Netzen. Die so vermiedenen Netznutzungskosten können an die dezentralen Erzeuger und Verbraucher weiter gegeben werden.

Das VKW vereinbart mit dem Kunden Harzenergie einen Fahrplan auf ¼-h-Basis an. Daraus abgeleitet werden für die Lieferanten des VKW Präferenzen für Lauf- und Ruhezeiten der Erzeugungseinheiten. Im Sinne einer effizienten Betriebsweise werden bei nicht leistungsgemessenen Lieferanten die im Projekt entwickelten synthetischen Produktionsprofile verwendet.

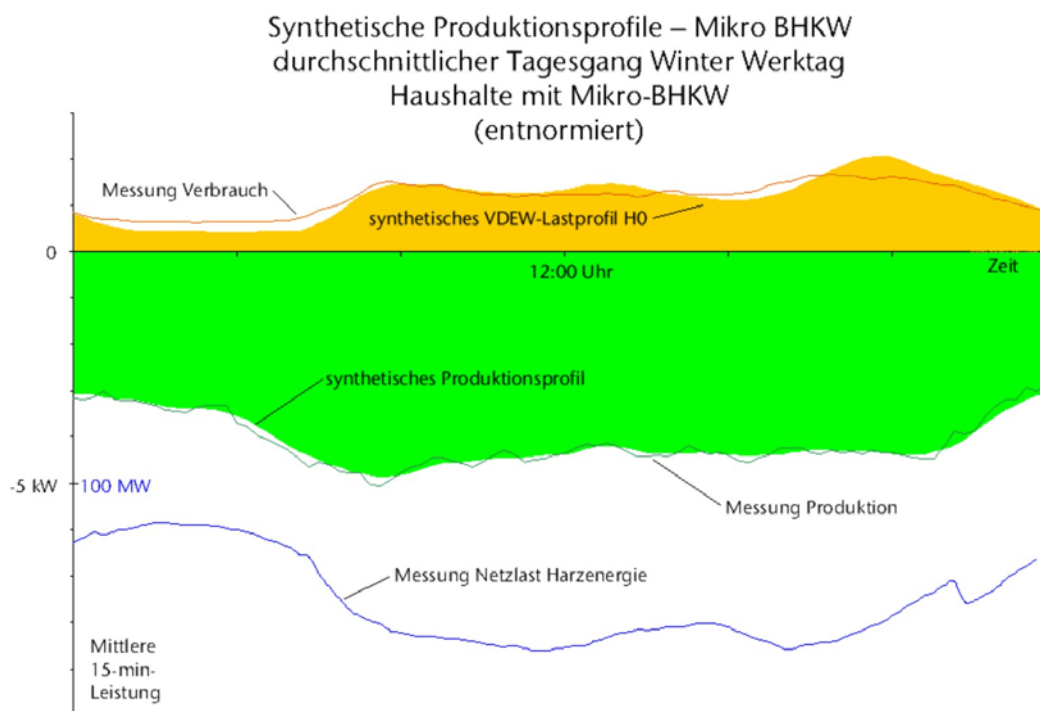


Bild 2: Synthetisches Produktionsprofil - Mikro BHKW, im Vergleich dazu Messung Produktion, Verbrauch und daraus ermittelter Lastgang nach VDEW-H0-Lastprofil, ergänzt um die Messung der Netzlast der Harzenergie (entnormiert, durchschnittlicher Tagesgang, mittlere 15-min-Leistung)

---

Die fahrplanseitige Beeinflussung der Betriebszeiten der Erzeuger erfolgt nach technisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gestaffelt:

- manuelle Änderung durch VKW-Erfüllungsgehilfen, insbesondere im Rahmen der Wartung
- manuelle Änderung durch den Betreiber, beispielsweise durch Anruf, E-Mail
- automatische Änderung durch Online-Anbindung
  - ohne Quittung durch Fernsteuerung
  - zwei Wege durch Online-Modul

Durch diese „Vorsteuerung“ wird der Bedarf für kurzfristige Energielieferungen minimiert, die im gegenseitigen Einvernehmen jederzeit angepasst werden kann. Der verbleibende Bedarf an kurzfristig abrufbarer Leistung wird im Rahmen der online verfügbaren Anlagen erfüllt.

Im Rahmen des Projekts werden die verfügbaren Potenziale an positiver und negativer abrufbarer Leistung minütlich bezogen auf die aktuelle Abrechnungsviertelstunde ermittelt und dem Kunden zur Verfügung gestellt. Für die Ermittlung der Werte von nicht leistungsgemessenen Erzeugungseinheiten werden die synthetischen Produktionsprofile mit Hilfe online erfasster Daten einer Stichprobe angepasst.

Der Kunde Harzenergie entscheidet über den Abruf der Leistung aus dem VKW, welches wieder bestimmt, wie und mit welchen Anlagen und Anlagegruppen der Leistungsabruf gedeckt wird. Durch diese Struktur kann sich die Harz Energie weiter auf ihre Kernkompetenzen im Energieversorgungsbereich konzentrieren und die Möglichkeiten der dezentralen Erzeugung elektrischer Energie nutzen.

Im Projekt werden vorrangig bestehende und künftig zu errichtende Anlagen nachstehender Kategorien für die Nutzung im Virtuellen Kraftwerk betrachtet:

- Blockheizkraftwerke (BHKW), insbesondere kleine BHKW in Ein- oder Mehrfamilienhäusern oder Gewerbeimmobilien. In diesem Bereich kann bei technisch-wirtschaftlicher Verfügbarkeit das BHKW durch Brennstoffzellen substituiert werden.
- Notstromaggregate, deren monatlicher Probelauf bisher unkoordi-

**Projekt:** Virtuelles Kraftwerk Harz

---

niert abläuft und nicht zur Netzentlastung verwendet wird.

- Wasserkraftwerke. Das Potenzial ist im Harz weitgehend ausgeschöpft, für die vorhandenen Anlagen in einer Größenordnung von mehreren Megawatt besteht im Hinblick auf die Netzentlastung Optimierungsbedarf

**Projektstand:** Für Mikro-KWK-Anlagen wurden am Beispiel des Senertec Dachs Produktionsprofile entwickelt und vorgestellt. Es ist beabsichtigt, dass diese bei unserem Projektpartner Harz Energie eingesetzt werden. Ebenso wurde ein Funktionsmuster des Virtuellen Kraftwerks Harz erstellt und den Projektpartnern und Dachsbetreibern präsentiert. Nach Ablauf des Projekts in 2008 soll das Thema "Virtuelles Kraftwerk" am Institut in weiteren Projekten voran getrieben werden.

**Projektpartner:**

- Harz Energie GmbH & Co KG und Harz Energie Netze GmbH, Osterode
- Senertec Center Harz und Börde, Bad Harzburg
- Goslarer Gebäude Management, Goslar

**Förderung:** Das Projekt wird gefördert durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)

**Bearbeiter:** Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt (Tel: 72-2572)  
schmidt@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)





**Projekt:** Energiepark Clausthal  
Teilprojekt Leitsystem und Prozessankopplung

---

**Projektstand:** Im Rahmen von vier Diplomarbeiten, einer Studienarbeit und Hiwi-aufträgen wurde das Leitsystem der “Clausthaler Lehr- und Demonstrationsanlage für dezentrale regenerative Energieversorgungssysteme” (kurz: Energiepark Clausthal) konfiguriert. Es erfüllt die gestellten Aufgaben vollständig, wie in zahlreichen Besichtigungen und Vorführungen vor unterschiedlichem Publikum nachgewiesen werden konnte.

Die Namenskonvention für die Prozessvariablen ist an das Kraftwerk-kennzeichnungssystem (KKS) angelehnt. Das Datenmodell wurde nach dieser Namenkonvention objektorientiert strukturiert. Eine Bedien- und Beobachtungsoberfläche für die elektrische Energieversorgung wurden erstellt. Das sogenannte Kurventool und das Archivsystem wurden konfiguriert. Spezielle Einstellungen für Vorort-Vorführungen sowie Demonstrations- und Televeranstaltungen wurden konzipiert und eingerichtet.

Einige Hardwarekomponenten haben im Dauerbetrieb bereits ihre Einsatzgrenzen erreicht. In diesem Zusammenhang hat sich das eingesetzte umfangreiche Backup-Konzept sehr bewährt.

Bei den sogenannten höheren und Optimierungsfunktionen wurden spezielle Prognosen für eine Kraftwerkeinsatzplanung (dayahead-Prognose für den nächsten Tag) und den Online-Regler (intraday-Prognose für die nächsten Stunden) erstellt. Ein zweistufiges Energiemanagement wurde entwickelt und erprobt, siehe Veröffentlichungsliste. Dies ermöglicht die Validierung von Optimierungs- und Planungstools, die in Forschungsprojekten des IEE (z. B. Day-ahead-Einsatzplanung und Online-Dispatcherassistent) entwickelt werden. Diese Werkzeuge werden im Rahmen von echten Experimenten mit den Energieanlagen des Energieparks Clausthal eingesetzt.

Teile des Energieparknetzes wurden im sogenannten Netz- und Training- Simulator modelliert. Dies ist ein im Leitsystem vorhandener Simulator, der anstelle des echten Prozesses aktiviert werden kann, um mit der vorhandenen Bedien- und Beobachtungsoberfläche Abläufe üben zu können. Da nicht für alle Energiepark-Komponenten entsprechende Modelle vorliegen (z. B. Windkraftanlage und

---

Energiekonditionierung), konnte nicht der volle Funktionsumfang des Energieparks Clausthal nachgebildet werden.

Derzeit stehen noch Arbeiten beim Protokollsystem aus, die für die Ziele des Projektes Energiepark Clausthal von untergeordneter Bedeutung sind. Eine wichtige anstehende Aufgabe ist die Anbindung weiterer Komponenten des Energieparks, die im Rahmen anderer Projekte, z. B. des Forschungsverbunds Energie Niedersachsen, installiert werden. Geplant sind derzeit weitere Kraftwerksmodule, unter anderem mit Kälte-Auskopplung und eine Virtuelle Synchronmaschine (s. Projekt VISMA).

<b>Bearbeiter:</b>	Dipl.-Ing. Arnuphap Dowrueng dowrueng@iee.tu-clausthal.de	(Tel: 05321/6855-125)
<b>Projektleiter:</b>	Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann	(Tel.: 72-2595)

**Projekt:** Forschungsverbund Energie Niedersachsen  
Teilprojekt 3: Energiekonditionierer “Virtuelle Synchronmaschine”

---

**Problem:** Das Land Niedersachsen verfügt derzeit über einen relativ hohen Anteil verteilter elektrischer Energieerzeugung. Dies ist im Wesentlichen auf die günstigen Windverhältnisse und die Wasserkraft im Harz zurückzuführen. Es ist erklärtes Ziel der Landesenergiepolitik, die Flächenlandstrukturen mit einem hohen Anteil an Agrarwirtschaft einzusetzen, um die energetische Nutzung von Biomasse weiter auszubauen. Vorläufer sind heute schon Gas-Blockheizkraftwerke, die mit heimischem Erdgas zur Stromerzeugung und kombinierter Abwärmenutzung betrieben werden. Allein in der Harzregion gibt es hiervon bereits 1000 Anlagen, die in den letzten Jahren installiert wurden und derzeit zum „virtuellen Kraftwerk“ vernetzt werden. Darüber hinaus hat das Land neben der Windenergie (FORWIND) die Brennstoffzellenforschung (Landesstrategie Brennstoffzelle) intensiviert, um die eingeleitete Entwicklung weiterzuführen. Was fehlt ist die Beantwortung der Frage: Wie kommt die dezentral (Niederspannungsnetz) und natürlich auch weiterhin zentral (Hochspannungsnetz) erzeugte elektrische Energie zum Verbraucher, ohne dass die bestehenden Netze überlastet (Stromausfall) bzw. instabil (Spannungsschwankungen) werden.

**Ziel:** Im vorliegenden Forschungsverbund, in dem seit April 2006 Elektrotechnik-, Maschinenbau- und Informatik Institute der vier Hochschulen mit den beiden außeruniversitären Landesinstitutionen im Verbund (Bild 1) eng zusammenarbeiten, sollen die offenen, das elektrische Netz betreffenden Fragen

- der Energie-Systemtechnik (EST)
- der Energie-Speichertechnik (ES)
- des Energie-Managements (EM)

geklärt werden, die bei relativ hohem Anteil (bis zu 20 %) dezentral vorwiegend im Niederspannungsnetz erzeugter elektrischer Energie entstehen. In insgesamt elf Einzelprojekten gibt es Aufgabenstellungen zu folgenden Arbeitsgebieten (Bild 2):

- Netzintegration, Betriebsstrategien und Vergütungskonzepte
- Netzqualität, Nichtversorgungswahrscheinlichkeit bei Netzen mit Minimalstandard
- Netzstabilität bei relativ hohem Stromrichteranteil im Netz
- Energiespeicherung und -konditionierung zur Qualitäts- und Stabilitätsverbesserung

---

- 
- Schutztechnik und Betriebsmittel-Kompatibilität bei verteilter Erzeugung
  - BHKW-Abwärmenutzung (Nahwärme/-kälte)
  - Energiemanagement und Netzkommunikation

Mit Hilfe von analytischen Berechnungen, Simulationen (online und offline) und Experimenten, die u.a. praxisnah im Clausthaler Energiepark durchgeführt werden können, sollen erprobte, zuverlässige Konzepte, Auslegungskriterien und Grenzen für die verteilte elektrische und Wärme/Kälte Energieerzeugung entwickelt werden. Dabei sind kombinierte Netz- und Speicherstrukturen sowie deren Management über Modellierungs-, Simulations- und Optimierungsverfahren besonders zu betrachten, da diese in elektrischen Verteilnetzen heute wenig oder gar nicht genutzt werden. Gerade aus dieser Sicht wird sich vor dem Hintergrund der technischen (Informatik) und wirtschaftlichen Entwicklung (Liberalisierung des Marktes) in Zukunft eine grundlegende Umstrukturierung (z.B. Minimalstandards von Netzen hinsichtlich Kosten und technischen Anforderungen) ergeben.

### **Teilprojekt 3**

#### **Stand der Technik:**

Zu den Netzzrückwirkungen der zahlreicher werdenden nichtlinearen Verbraucher im Netz zählen die zusätzliche thermische Belastung der Komponenten der Versorgungsinfrastruktur, Betriebsstörungen empfindlicher Geräte sowie zusätzliche Verluste bei der Ausbreitung nicht netzfrequenter Ströme. Störungen durch Subharmonische Schwingungen können z. B. beim Parallelbetrieb mehrerer Generatoren entstehen, was durch Messungen im Energiepark Clausthal nachgewiesen wurde (Bild 3). Hier arbeiten zwei von verschiedenen Kolbenmaschinen (Pflanzenöl-TDI-Motor und Biogas-Motor) angetriebene Drehstromasynchron-Generatoren elektrisch parallel.

#### **Lösungsweg:**

Das am IEE entwickelte Konzept der “Virtuellen Synchronmaschine” (VISMA) kann zur Energiekonditionierung in überwiegend regenerativ versorgten oder schwach ausgebauten Niederspannungsversorgungsnetzen eingesetzt werden (s. Projektblatt “VISMA”). Dies soll im experimentellen Umfeld des Energieparks Clausthal erprobt werden.

**Projekt:** Forschungsverbund Energie Niedersachsen  
Teilprojekt 3: Energiekonditionierer “Virtuelle Synchronmaschine”

---

**Projektstand:** Es wurden umfangreiche Messungen zu dem oben beschriebenen Stabilitätsproblem durchgeführt (unterschiedliche Generatortypen, Variation des Massenträgheitsmomentes, ...). Simulationsrechnungen belegen die Fähigkeit der VISMA, die Netzstabilität und -qualität bei derartigen Anregungen erheblich zu verbessern (Bild 4). Eine speziell auf den Energiepark ausgelegte Anlage (VISMA 2) befindet sich derzeit im Aufbau. Einbau in den Energiepark und Inbetriebnahme voraussichtlich in der 1. Hälfte 2008.

**Projektpartner:**

- Projektförderung durch das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur
- Technische Universität Braunschweig
- Universität Hannover
- Fachhochschule Hannover
- Universität Oldenburg
- Clausthaler Umwelttechnik-Institut GmbH - CUTEC
- Oldenburger Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Informatik-Werkzeuge und -Systeme - OFFIS

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Oleg Osika (Tel: 72-2593)  
oleg.osika@tu-clausthal.de

Dr.-Ing. Ralf Hesse (Tel.: 72-3821)  
ralf.hesse@tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)  
Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

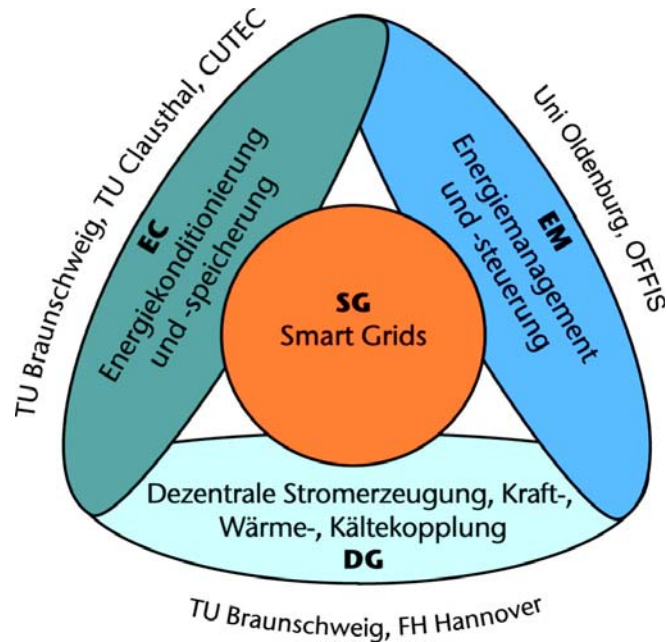


Bild 1: Struktur des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen (FEN)

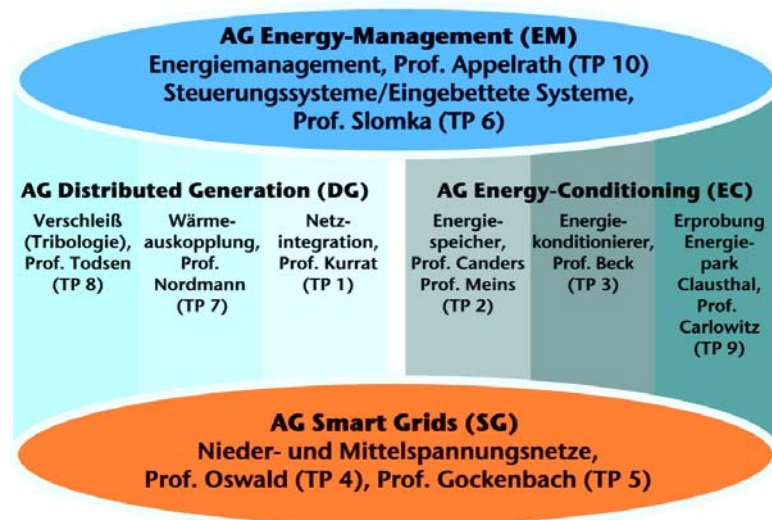


Bild 2: Dezentrale Energiesysteme: Zuordnung der Themenfelder zu den Arbeitsgruppen

**Projekt:**                      Forschungsverbund Energie Niedersachsen  
Teilprojekt 3: Energiekonditionierer “Virtuelle Synchronmaschine”

---

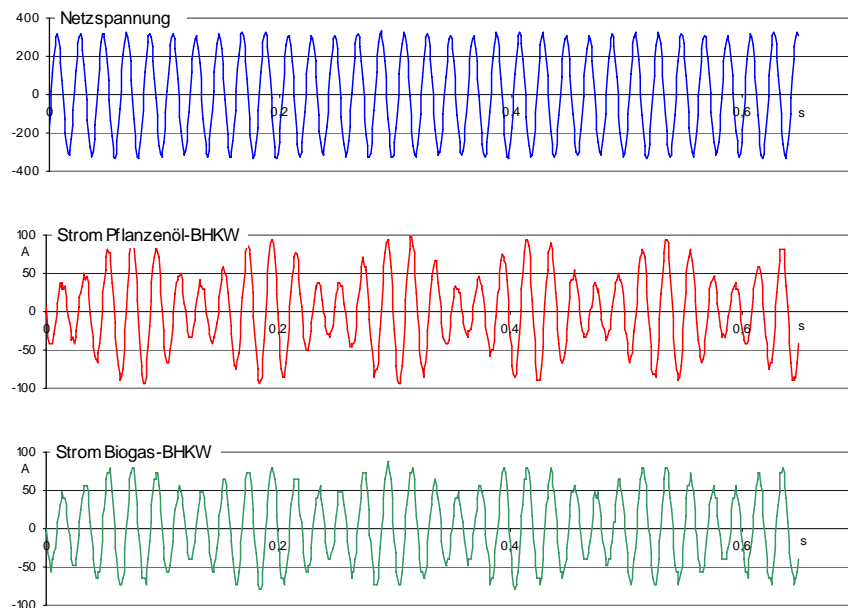


Bild 3: Anregung von Subharmonischen beim Parallelbetrieb von Motor-BHKW im Inselnetzbetrieb des Energieparks Clausthal Messung

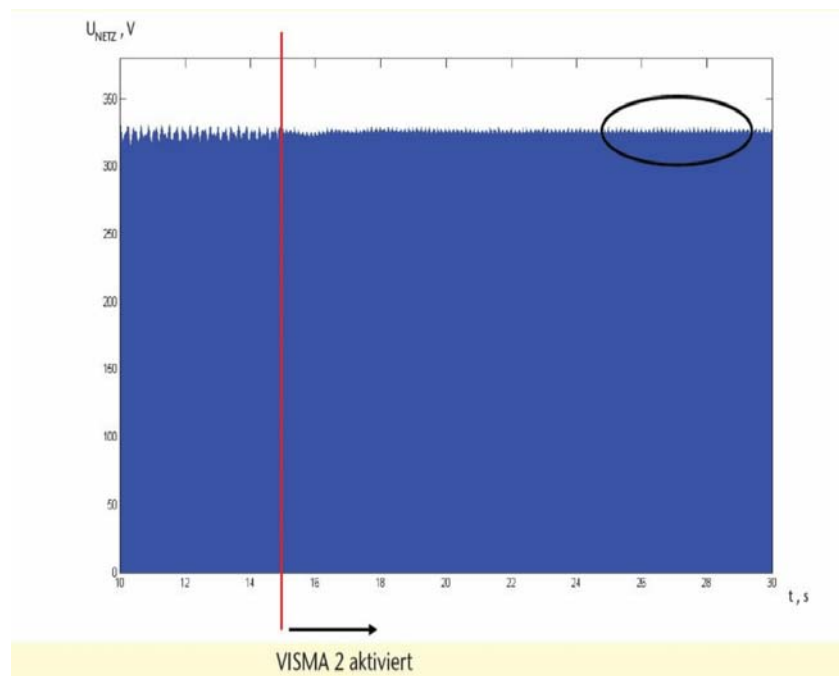


Bild 4: Stabilisierung des Inselnetzes Energiepark Clausthal durch eine Virtuelle Synchronmaschine (Simulation)





<b>Projekt:</b>	FEN, TP 9 Stabiler Netzbetrieb von Micro-Grids am Beispiel des Energieparks Clausthal
<b>Problem:</b>	<p>Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung des Inselbetriebes unter Einfluss dezentraler Energieerzeuger. Der Inselbetrieb wird unter bestimmten Bedingungen im Energiepark Clausthal (CUTEC Institut) realisiert. Der Energiekonditionierer, bestehend aus einer Batterie und einem Stromrichter, übernimmt die Netzführung. Zwei Blockheizkraftwerke laufen im Parallelbetrieb mit, ein Biodiesel-BHKW mit 4-Takt TDI-Motor und ein Biogas-BHKW mit 4-Takt Ottomotor. In erster Konfiguration sind die Blockheizkraftwerke mit Asynchrongeneratoren ausgestattet.</p> <p>Das Zusammenlaufen verursacht einen starken Flicker in der Netzspannung mit einer dominierenden Frequenz von 8 Hz. Die Störungen, die aus dem Verbrennungsablauf stammen, sind auch stark ausgeprägt (siehe Bild 1). Schließlich wird der Dauerbetrieb in dieser Konfiguration nicht möglich, da nach einer bestimmten Zeit der Schutz ausgelöst wird. Darüber hinaus bleibt das Netz auf die Dauer nicht stabil.</p>
<b>Ziel:</b>	<p>Ziel ist die Untersuchung der Ursachen und Auswirkungen von transienten und stationären unternetzrequenten Störeinflüssen, die die Energiequalität in dezentralen und vorwiegend regenerativ gespeisten Kleinnetzen mit elektrisch schwacher Kopplung beeinträchtigen. Mögliche suppressive Maßnahmen werden erarbeitet.</p>
<b>Stand der Technik:</b>	<p>Der Energiekonditionierer und die BHKWs sind einsatzbereit. Das Biodiesel-BHKW kann entweder mit Asynchrongenerator oder mit Synchrongenerator ausgestattet werden. Außerdem steht ein Schwungrad zum Aufsetzen auf die Antriebswelle bereit, was das Dämpfungsvermögen der Biodiesel-BHKW-Einheit verbessert. Die Inbetriebnahme und der Einsatz der „Virtuellen Synchronmaschine“ (VISMA) im Energiepark Clausthal wird vorbereitet (Stand 02/2008).</p>
<b>Lösungsweg:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Einsatz verschiedener Generatortypen (Asynchron- und Synchronmaschine)</li><li>- Einsatz des Schwungrades</li><li>- Einsatz der VISMA (siehe Bild 2)</li></ul>

---

<b>Projektstand:</b>	Das Projekt wurde am 01.04.06 gestartet. Anhand von Messungen im Versuchsnetz des Energiepark Clausthal wurden Störphänomene in den beschriebenen Netzen klassifiziert sowie die Netzqualität beeinträchtigende Störungen während des Netzbetriebs untersucht. Erarbeitete suppressive Maßnahmen wurden eingeleitet. Das Simulationsmodell vom Energiepark wurde erstellt.	
<b>Förderung:</b>	Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)	
<b>Bearbeiter:</b>	Dr.-Ing. Oleg Osika oleg.osika@tu-clausthal.de	(Tel: 72-2593)
<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck	(Tel.: 72-2570)

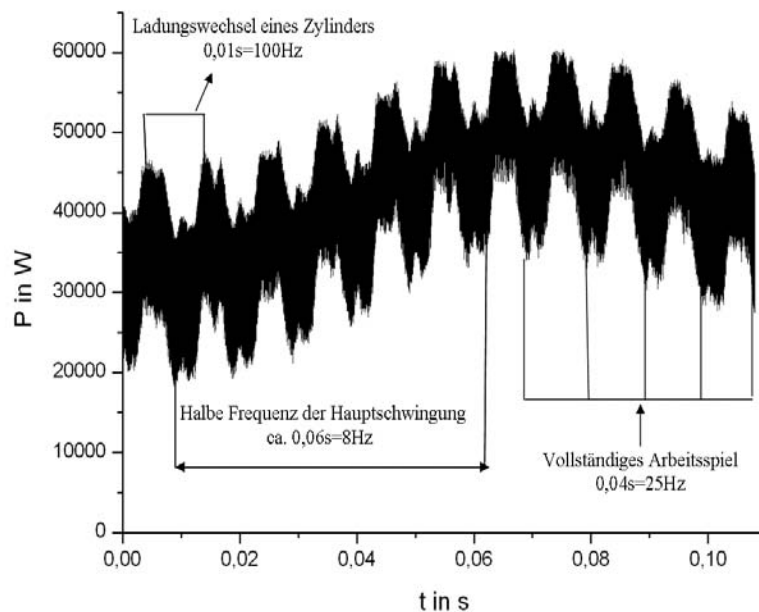


Bild 1: gemessener Wirkleistungsverlauf der Ausgangsleistung ( $\approx 30$  kW) des Biodiesel-BHKWs mit TDI-Motor

**Projekt:** FEN, TP 9 Stabiler Netzbetrieb von Micro-Grids am Beispiel des Energieparks Clausthal

---

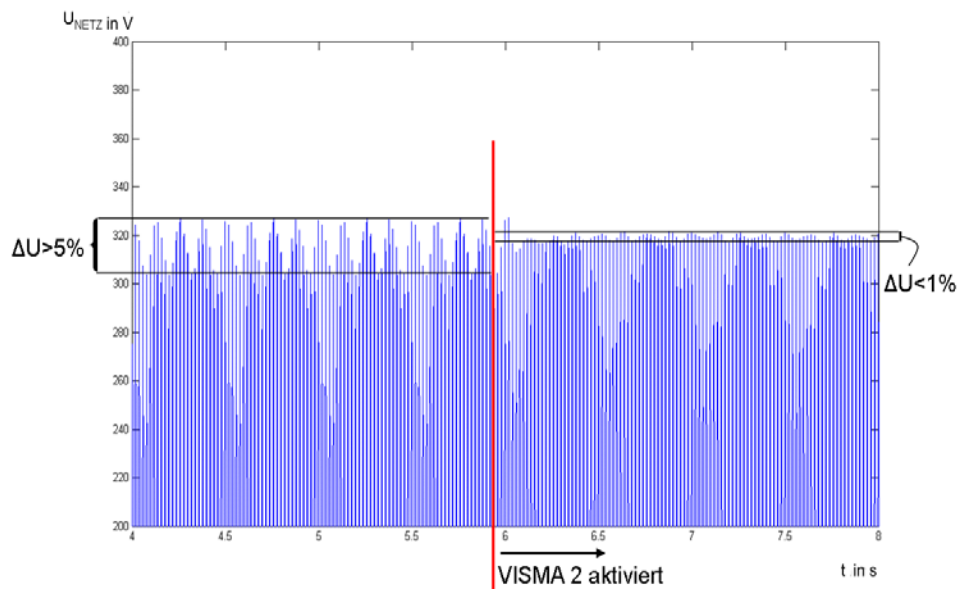


Bild 2: Einsatz der VISMA im Inselbetrieb zur Beseitigung der 8 Hz Störung und Verbesserung der Spannungsqualität (Simulationen)



**Projekt:** Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen  
- Grundlast von der Nordsee -

---

**Problem:** Ausgehend von dem Ziel der Bundesregierung, zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen die erneuerbaren Energien bis 2010 auf einen Anteil von mindestens 12,5 % der deutschen elektr. Energieerzeugung zu erhöhen, wächst die Bedeutung der Offshore-Windenergieanlagen beträchtlich. Aufgrund ihrer technischen und wirtschaftlichen Größenordnung bei Offshore-Windenergiesystemen können derartige Projekte nur unter Führerschaft von großen Unternehmen realisiert werden. Bis 2030 wird eine installierte Leistung auf See zwischen 20 und 25 GW erwartet. Eine besondere Herausforderung dabei ist der Transport der Energie vom Windpark bis ins binnenländische elektrische Energieversorgungsnetz.

Bis heute wurde in Deutschland noch kein Offshore-Windpark in Betrieb genommen. Der Rahmen wird durch die Entfernungen zur Küste mit 60 km, Wassertiefen von bis zu 40 m, ein an der Küste relativ schwach ausgebautes elektrisches Netz und die besonderen Anforderungen aus dem Umweltschutz bestimmt. Bisher ist von den genehmigten 15 Windparks in Nord- und Ostsee nur ein einziger durchgenehmigt, das heißt, es liegen alle Genehmigungen von der Windkraftanlage bis zum Netzanschluss vor. In diesem vom Bundesumweltministerium geförderten Testfeld Borkum West, dem heutigen Windpark „alpha ventus“, werden bis 2009 zwölf Anlagen vorrangig der 5-MW-Klasse installiert. Ein weiterer Ausbau ist vorgesehen.

**Ziel:** Durch die Integration unterschiedlicher Ressourcen zur Netzanbindung sind die durch die Windfluktuationen entstehenden Nachteile in der Belastung und Ausnutzung des Netzes durch eine Vergleichmäßigung des Energieangebotes bereits an der Energiequelle zu beseitigen. Dadurch wird eine gute Ausnutzung der elektrischen Übertragungsleitung gewährleistet (Bild 1).

Das Clausthaler Konzept sieht vor, dass die Schwierigkeiten für einen Offshore-Windpark, wie die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen der Windenergie und folglich die Vorhaltung der Reserven für den Netzbetrieb hinsichtlich Frequenz- und Spannungshaltung (Vorrangregelung), wie folgt gelöst werden. Mit einem inte-

grierten Einsatz von Windkraft, Kavernenbau, Gaslagerstätten und Schwachgas-Verstromung im Gaskraftwerk kann eine regenerative Energieerzeugung auf See erfolgen, so dass das Verbundnetz mit Grundlast von der Nordsee versorgt wird.

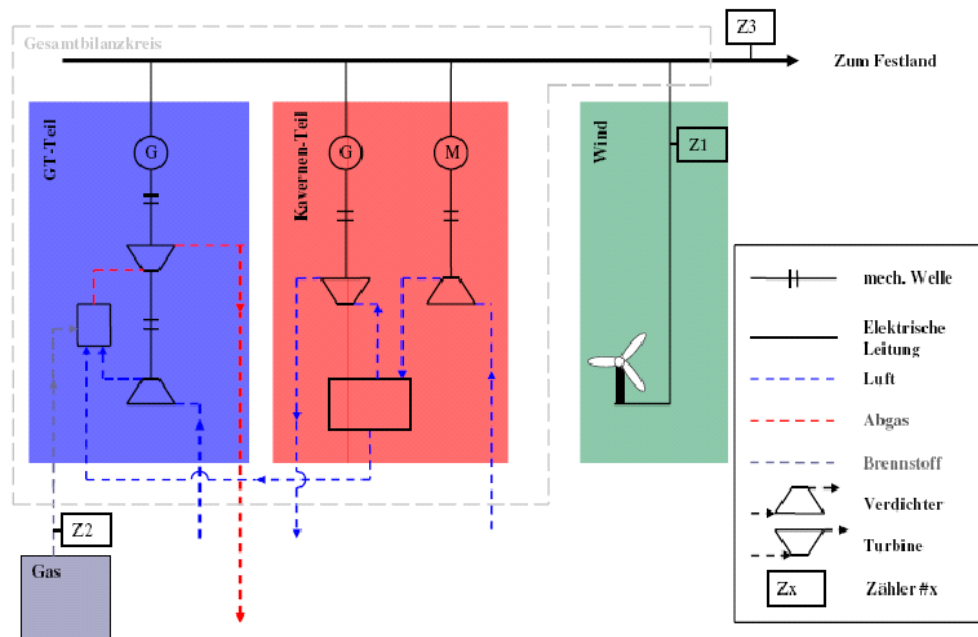


Bild 1: “Clausthaler Konzept” - Integration der fluktuierenden Windenergie und unterschiedlicher anderer Ressourcen zur netzverträglichen Anbindung an das elektrische Energieversorgungsnetz - Grundlast aus der Nordsee

Das bedeutet, dass die fluktuierende Offshore-Windenergie-Produktion gleichmäßiger nutzbar wird durch

- Beistellung einer windunabhängigen Energiequelle durch Verstromung von Erdgas, um bei fehlendem Wind weiterhin Energie erzeugen zu können und/oder
- Absorption von Überschuss-Leistung in Zeiten starken Windaufkommens bei gleichzeitig geringer Last durch Druckluftspeicher-Gasturbinen-Kraftwerke und die zeitversetzte Erzeugung bei hoher Nachfrage

Langfristig soll in einem Verbund aus Windenergie, Druckluftkavernen und Schwachgasvorkommen im deutschen Nordseebereich

**Projekt:** Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen  
- Grundlast von der Nordsee -

---

ein abgestimmtes Konzept unterschiedlicher Ressourcen zur Netzintegration von Offshore-Wirkleistung entstehen.

**Stand der Technik:** Die Einzelkomponenten innerhalb des Clausthaler Konzeptes (Offshore-Windpark, Untertagedruckluftspeicher, Schwachgas) können an unterschiedlichen Orten (offshore/onshore) betrieben werden und müssen auf elektrischem Wege (Drehstrom/HGÜ) gekoppelt werden um eine Netzintegration zu ermöglichen. Dabei ist die Größe/Leistung von Windpark, Gaskraftwerk, Speicher und Transport-Leitung besonders zu berücksichtigen.

**Lösungsweg:** Zunächst wurde am Institut ein Modell für einen Offshore-Windenergiepark zum Zwecke der Auslegung und Dimensionierung eines Verbundkraftwerks nach dem “Clausthale Konzept” entwickelt. Dabei wird anhand des Modells die abgegebene elektrische Augenblicks-Wirkleistung in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit simuliert (Bild 2).

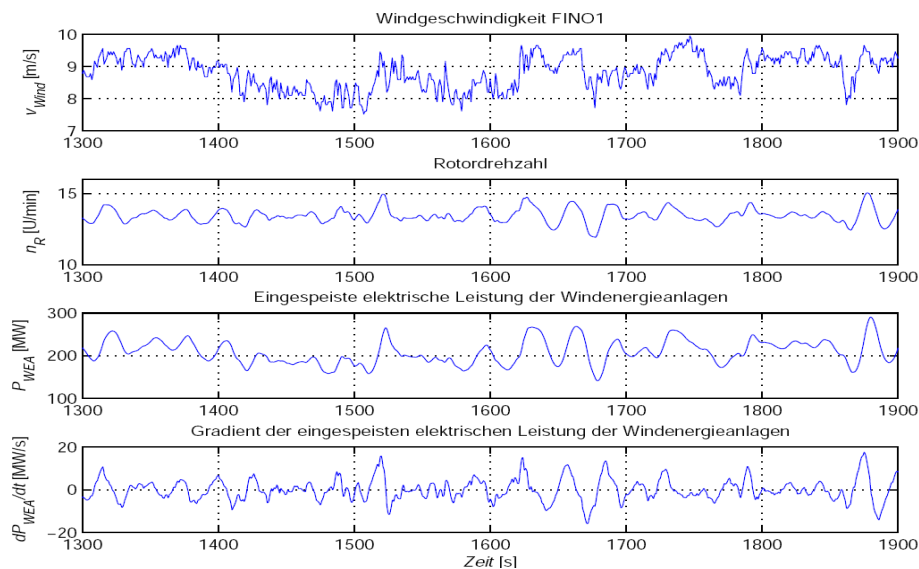


Bild 2: Ausschnitt der Zeitreihe der elektrischen Leistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Simulationsergebnisse)

Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Anschlusskonzepte des Hybridkraftwerks an das Binnennetz. Während beim Windpark „Alpha Ventus“ ein 110-kV-Drehstromsystem genügt, werden bei größeren Offshore-Windparks auf Gleichspannung basierte Systeme bevorzugt. Dabei ist zu beachten, dass derzeit unterschiedliche Regelungen für den Anschluss der Windparks und den der anderen Komponenten gelten. Die Rahmenbedingungen sind derzeit nur bedingt geeignet, derartig innovative Kombi-Lösungen zu fördern.

Im Rahmen des Projekts sind über den Betrieb als Gundlastkraftwerk hinaus, wobei eine konstante Leistung je Viertelstunde abgegeben wird, auch andere Betriebsarten abzugrenzen. So kann neben einer konstanten Abgabe einer vorgegebenen Augenblickswirkleistung – wie es im wesentlich kleineren Maßstab im „Energiepark Clausthal“ in einem Verbund aus mehreren kleinen dezentralen Erzeugern und Batteriespeicher im Rahmen der Teilprojekte 3 und 9 des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen erprobt wird – auch die sogenannte „Windstromveredlung“ gefahren werden. Dabei wird mit Hilfe von Gas- und Speicherkraftwerk die fluktuierende Windstromerzeugung so ergänzt, dass sich in der Summe ein marktkonformes Angebot ergibt. Gleichzeitig kann durch den Einsatz des Speichers die notwendige Übertragungskapazität des Netzanschlusses der Windparks gesenkt werden (Abbildung 3).

**Projektstand:**

Mit Hilfe des Simulationsmodells des Windparks werden für verschiedene Szenarien elektrische Leistungskurven erstellt, mit deren Hilfe die anderen Kraftwerkskomponenten ausgelegt und die verschiedenen Betriebsarten simuliert werden können.

**Projektpartner:**

Arbeitsgemeinschaft Windenergie, bestehend aus

- Institut für Aufbereitung und Deponietechnik (IFA)
- Institut für Erdöl Erdgastechnik (ITE)
- Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik (IEVB)
- Institut für Elektrische Energietechnik (IEE)
- Institut für Maschinenwesen (IMW)
- Institut für Wirtschaftswissenschaft (WiWi)



**Projekt:** Netzintegration von Offshore-Großwindanlagen  
- Grundlast von der Nordsee -

---

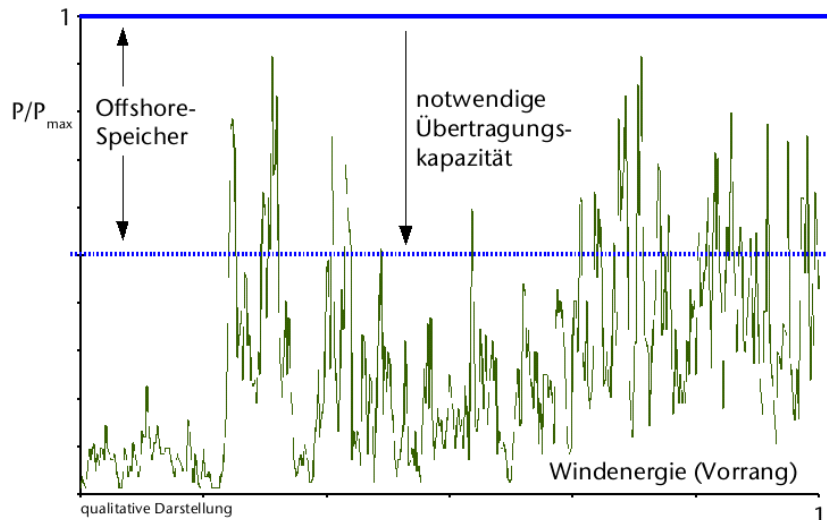


Bild 3: qualitative Darstellung der notwendigen Übertragungskapazität bei Einsatz des Druckluftspeichers als Zwischenspeicher für “Windenergie”

**Förderung:** Das Projekt wird gefördert durch:  
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin  
- EWE AG, Oldenburg

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Tambwe Benoit Musasa (Tel.: 72-2939)  
musasa@iee.tu-clausthal.de

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Marko Schmidt (Tel.: 72-2572)  
schmidt@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Tel.: 72-2299)



**Projekt:** ELAN Partner Energy Management

---

**Problem:** Der gemeinsame Studiengang „Energy Management“ der TU Clausthal und Partneruniversitäten (Universität Oldenburg und ggf. der Energie-Universität Oslo) ist der Kristallisationspunkt des ELAN-Partner-Projekts „**Energy Management**“. Er erfordert eine Strategie sowohl zur effizienten Gesamtorganisation, Anmeldungen und Ankündigungen als auch zur Unterstützung bei hochschulübergreifendem und örtlich verteiltem Studieren und Lehren. Auf Grund der Entfernung ist die Kommunikation zwischen den Studierenden untereinander sowie mit Lehrenden kein zu vernachlässigendes Problem. Die lokalen Lehrveranstaltungen, die zwischen Clausthal und Partneruniversitäten importiert und exportiert werden, gemeinsame Seminare und „Stammtische“ müssen koordiniert werden. Zum Beispiel benötigt ein Fernzugriff auf eine Lehr- und Demonstrationsanlage wie der „Clausthaler Energiepark“ eine koordinierte Betreuung an den teilnehmenden Standorten (sowohl im Energieparkleitstand als auch im Hörsaal).

**Ziel:** Das Hauptziel ist der Aufbau neuer hochschulübergreifender Strukturen zum Einsatz von Multimedia in Lehre, Studium und Weiterbildung. Lehrmodule sollen geschaffen werden, die zu einer Flexibilisierung der Lehre im Bereich „Energy Management“ führen. Die Präsenzlehre soll mit Hilfe von Multimediasystemen (Hardware und Software) zu einer Qualitätssteigerung der Ausbildung an der TU Clausthal und den Partneruniversitäten führen. Des Weiteren werden Möglichkeiten für den Lehrexport (Teleteaching) sowie für Weiterbildungsmaßnahmen geschaffen.

**Lösungsweg:** Um das Ziel zu erreichen, werden folgende konkrete Arbeitspakete umgesetzt:

- Unterstützung und Optimierung der Präsenzlehre im Bereich “ENERGY MANAGEMENT” unter Verwendung des zu diesem Bereich entsprechenden E-Learning Angebotes des IEE und der Partneruniversitäten.
- Geeignete konzipierte und realisierte Lehrmodule, Experimente und Simulationen im Multimedia Format zum zeit- und ortsunabhängigen Selbststudium.
- Gesamtorganisation, Anmeldungen und Ankündigungen durch ein Lehrmanagementsystem

---

- 
- Erstellung eines Internetportals „Energy Management“ als Austauschplattform

Das ELAN-Partner-Projekt „Energy Management“ nutzt die Unterstützung des **ELAN-Piloten** Clausthal/Göttingen, die Nutzung des **Clausthaler Energieparks** sowie der im Rahmen der hochschulübergreifende Innovationen beschafften Multimedia-Ausstattung für den Studiengang Energy Management als Voraussetzungen.

**Ergebnisse:**

Nach zwei Jahren wurden folgende konkrete Ergebnisse erarbeitet:

- Konvertierung von Vorlesungsskripten in Multimedia-Formate (MS Powerpoint, imc Lecturnity, Videoformat mpeg 2, pdf Dateien, usw.)
- Aufzeichnung von Vorlesungen mit begleitenden Experimenten, Wiedergabe über Internet und DVD als Endprodukt (Bild 1)
- Übertragung von Vorlesung mit VNC- und Telekonferenz-Technologien z. B. von Göttingen nach Clausthal
- Ausstattung eines Hörsaals und der Lehr- und Demonstrationsanlage „Clausthaler Energiepark“ (Bild 1 und Bild 2) mit einer Multimedia-Installation
- Gesicherter Zugriff auf den Energiepark als Lehr- und Demonstrationsanlage, eine Brücke zwischen Theorie und Praxis (Bild 2)
- Integration der statischen Lehrmittel und Simulationsplattformen in einem Internetportal „Energy Management“ (Vorlesungen, Lehrmodule und Simulationen online) (Bild 3)
- Kontaktpflege mit Partneruniversitäten und Forschungsinstituten mit dem Ziel des Austausches von Lehrmodulen

Die Kontakte zu Partneruniversitäten und Forschungsinstituten (Uni Oldenburg, TU Braunschweig, Clausthaler Umwelttechnik Institut, usw.) werden weiter entwickelt. Im Wintersemester 2006/2007 wurden die Simulationen aus dem „Energy Management“ Internetportal im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Universität Oldenburg vorgeführt. Die hier entwickelte Simulationssoftware bietet eine gute Darstellung von in der Praxis anzutreffenden Problemen. Mit der Demonstrationsanlage „Clausthaler Energiepark“ steht eine sehr realitätsnahe Laborumgebung zur Verfügung. Es gibt eine zunehmende Nachfrage nach den produzierten Multimedia Produkten (z. B.

**Projekt:** ELAN Partner Energy Management

---

DVDs und Simulationen) nicht nur im Inland sondern auch vom Ausland.

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Aimé Mbuy (Tel.: 72-3702)  
mbuy@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

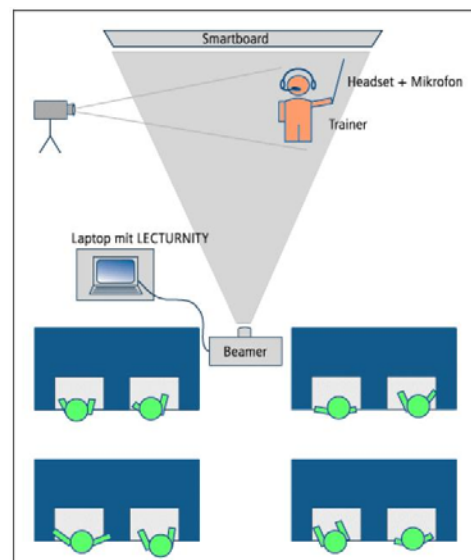


Bild 1: Aufzeichnung der Vorlesungen “Grundlagen der Elektrotechnik I und II” im imc Lecturnity Format. Diese werden vom Rechenzentrum TU Clausthal nachbearbeitet (Schnitt und Synchronisierung mit Ton und Bild)

---



Bild 2: Zwischen den an ELAN teilnehmenden Universitäten und dem IEE wurde am 07.07.2005 ein Telekolloquium mit dem Thema **“Dezentrale Energieerzeugung - eine Lösung zukünftiger Energieprobleme?”** durchgeführt. Dazu wurde eine Verbindung zwischen dem Energiepark und einem Multimedia Hörsaal hergestellt. Der Vortragende konnte dabei die Anlagen fernsteuern und die Hörer im Hörsaal sowie an den zugeschalteten Orten konnten dies verfolgen.

Projekt: ELAN Partner Energy Management



Bild 3: Das Portal wurde unter Berücksichtigung der menschlichen Wahrnehmung konzipiert und entwickelt. Es integriert alle Module und bietet die Möglichkeit auf andere Webseiten mit relevanten Informationen zu schalten. Die Vorlesungen und die Simulationen können herunter geladen werden. Das Portal bietet direkten Zugang zum Lernmanagementsystem und eine Verbindung mit dem Energiepark Clausthal.





**Problem:** Heute wird das Bundesland Niedersachsen durch die Kompetenzen seiner Hochschulen und Forschungszentren als Energieforschungsland, vor allem auf dem Gebiet „Dezentrale Energiesysteme“ dargestellt. Die Frage ist, wie ein Hochschulstandort die Kompetenzen anderer Standorte effizient nutzen kann, um seine eigenen Kompetenzen zu ergänzen. Welche Lösungen bieten sich an, um den facettenreichen Themenkomplex „Dezentrale Energiesysteme“ durch ein umfassendes Angebot besser zugänglich bzw. studierbar zu machen. Die Maßnahmen sollen zugleich die bestehende energiebezogene Zusammenarbeit der partizipierenden Standorte stärken sowie zielgerichtet nutzen, um sie nachhaltig in der Lehre zu etablieren.

**Ziel:** Die Einrichtung eines Lehrverbunds zwischen der TU Braunschweig, der TU Clausthal und der Uni Oldenburg ist die Antwort auf die oben gestellte Frage. Das komplexe Gebiet der dezentralen Energiesysteme wird den Studierenden als hochschulübergreifende Veranstaltung angeboten. Durch die Nutzung standort- und fachbereichsübergreifender Kompetenzen auf den Gebieten Energietechnik, Informatik, Ökonomie und Ökologie können Lernende das Thema vertieft aufarbeiten und umfassend verstehen. Dieses Lehrangebot wird so aufbereitet, dass es in die standortabhängigen und fachspezifischen Lehrpläne der Projektpartner (Braunschweig, Clausthal, Oldenburg) integriert werden kann.

**Lösungsweg:** Ein Lehrmodul „Dezentrale Energiesysteme“ wird von den drei Hochschulen zusammengestellt. Die aufbereiteten Inhalte der jeweiligen Standorte werden den Lernenden in Form von Vorlesungsaufzeichnungen dargeboten. Für die Content-Erstellung kommt die Aufzeichnungssoftware Lecturnity zum Einsatz. Bei dieser Aufzeichnungsmethode werden den Lernenden neben den Folieninhalten auch eine Audio- und Videoaufzeichnung des Vortragenden zur Verfügung gestellt. Neben der Möglichkeit die Annotationen mit aufzuzeichnen, können ebenfalls externe Programme (beispielsweise Simulationswerkzeuge oder multimediale Lernprogramme) in die Aufzeichnung eingebunden werden. Bild 1 zeigt die Aufteilung des Bildschirms.

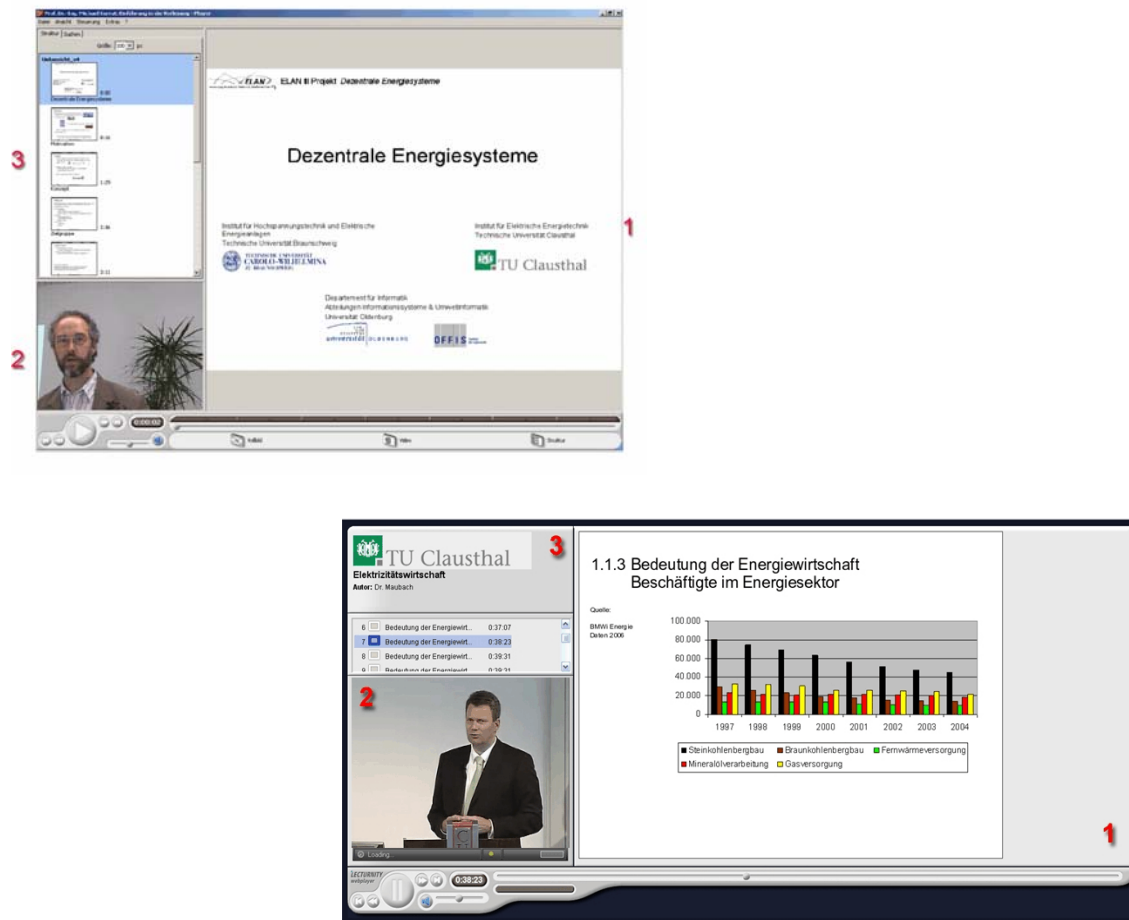


Bild 1: Bildschirmaufteilung von Lecturnity

Der Hauptteil des Fensterbildes steht dabei der Folienabbildung und deren Annotationen zur Verfügung (1). Individuell kann der Lernende das Videobild (2) vergrößern und sogar in einer Vollbildansicht betrachten, wenn z.B. per Video Experimente gezeigt werden. Durch eine übersichtliche und einfache Navigation (3) ist es jederzeit möglich, jede beliebige Folie und die dazugehörigen Erklärungen direkt anzusteuern und beliebig oft zu wiederholen.

Um den Lernenden eine direkte Feedback-Möglichkeit anbieten zu können, werden die einzelnen multimedialen Selbstlerneinheiten durch jeweilige Präsenzübungen ergänzt und abgerundet. Im Rahmen dieser Präsenzveranstaltungen werden an den drei Standorten Übungsaufgaben zu aktuellen und praxisnahen Beispielen bearbeitet, um das in der Vorlesung gewonnene Wissen zu vertiefen und zu festigen. Angeleitet werden die Übungen durch einen Tutor, sodass

**Projekt:**

ELAN III - Modul: Dezentrale Energiesysteme

Fragen zu der Vorlesungseinheit beantwortet und diskutiert werden können. Darüber hinaus stehen die Tutoren auch als Ansprechpartner für Gespräche und Fragen außerhalb der Übungen zur Verfügung.

Für die standortübergreifende Organisation und den Austausch von Informationen findet das Lernmanagementsystem Stud.IP Verwendung. Durch die Nutzung von Stud.IP können die Lernenden innerhalb eines Forums Fragen an die Dozenten richten oder mit den Studierenden der anderen Universitäten in Kontakt treten und die Themengebiete diskutieren. Die Inhalte der Vorlesung und Übung werden ebenfalls über die Plattform Stud.IP verteilt. Dies gilt neben den Vorlesungsaufzeichnungen auch für Zusatzmaterialien wie bspw. Folienskript und Literaturempfehlungen. Die Zusammenarbeit zwischen den Hochschulen wird durch das Stud.IP gestützt.



Bild 2: Beziehungen zwischen den Hochschulen

**Projektstand:**

Die Veranstaltung wurde im Wintersemester 2007/2008 von Oktober bis Februar erstmalig angeboten und beinhaltet bislang 19 Vorlesungs- und 9 Übungseinheiten. Dabei decken die Vorlesungseinheiten die folgenden Themengebiete ab: Energieerzeugung, -transport, -speicherung und -verbrauch, Wirtschaftliche Aspekte, Informationstechnologien und Konsequenzen aus aktuellen Entwicklungen.

Geplant war zudem die Durchführung einer zentralen Übung in Kooperation mit dem Energiepark Clausthal am Standort des Clausthaler Umwelttechnik Instituts GmbH (CUTEC). Hierbei sollte es den Lernenden ermöglicht werden, via Internet auf ein Energiemanagementssystem für dezentrale Anlagen in Form eines Telekolloquiums zuzugreifen, um das erlangte Wissen im Rahmen einer Kraftwerkseinsatzplanung und Online-Steuerung anzuwenden. Dieses Vorhaben konnte im ersten Durchlauf technisch nicht mehr umgesetzt werden. Somit wird diese Übung erst ab Sommersemester 2008 zu einem integralen Bestandteil der Veranstaltung werden.

Folgende Studiengänge haben das Lehrangebot an den drei Standorten aufgenommen:

- TU Braunschweig: E-Technik, Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen
- Uni Oldenburg: Informatik und Physik
- TU Clausthal: Energiesystemtechnik, Maschinenbau/Mechatronik und Wirtschaftsingenieurwesen

Im ersten Durchlauf der Vorlesungsreihe hat sich gezeigt, dass das „fachfremde“ Angebot in den jeweiligen Studiengängen – in Oldenburg die Elektrotechnik, in Braunschweig und Clausthal die Informatik – bei den Lernenden gut angenommen und als Bereicherung des Vorlesungsangebotes empfunden wurde. Nachdem zu Beginn Diskrepanzen bzgl. der verschiedenen Vorkenntnisse erkannt wurden, konnte noch Einfluss auf die Ausgestaltung der Inhalte genommen werden, sodass sich die Hochschulen hier angenähert haben. Ferner ist für die nächsten Semester eine noch stärkere Einführung in die Themengebiete geplant, die an den jeweiligen Hochschulen bisher nicht im Vorlesungsangebot enthalten sind. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Veranstaltung auch für zunächst fachfremde Studiengänge verständlich und bereichernd ist (z.B. Umweltschutztechnik, Informationstechnik, ...).

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Aimé Mbuy (Tel.: 72-3702)  
mbuy@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

## Projektübersicht

---

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner  
Tel.: +49-5323-72-2592  
E-Mail: turschner@iee.tu-clausthal.de

### Arbeitsgruppe Leistungsmechatronik/Antriebe

#### Forschungsschwerpunkte und Projekte

Mechatronik beinhaltet das Zusammenwirken der klassischen Ingenieurwissenschaften Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik. Entsprechend vielfältig sind die Forschungsschwerpunkte innerhalb der Arbeitsgruppe. Sie reichen von der klassischen elektrischen Antriebstechnik, über Leistungselektronik bis zur Energiekonditionierung.

Es ergeben sich hieraus für das Institut folgende Forschungsschwerpunkte:

- **Entwicklung adaptiver Dämpfungsregler zur Reduzierung von selbsterregten multi-frequenten Schwingungen in mechatronischen Antriebssystemen**
  - Ersetzen einer rechenintensiven Fast-Fourier-Transformation zur Schwingungsüberwachung und Regleranpassung durch einen einfachen Phasenregelkreis
  - Entwicklung eines phasenkompensierten Filters mit Bandpaßcharakteristik
  - Dynamische Schwingungsdämpfung zur Verbesserung der Prozeßgüte in einem Walzantriebssystem
- **Untersuchung der Betriebszustände einer Windenergieanlage**
  - Entwicklung eines Simulationsmodells für verschiedene Generatorkonfigurationen
  - Erfassung unterschiedlicher Sonderereignisse in Windenergieanlagen, die zu einer Beanspruchung der Mechanik führen
  - Projektierung und Aufbau eines Prüfstandes zur Validation des Simulationsmodells
- **Leistungselektronische Ausstattung von Getriebeprüfständen**
  - Aufbau eines B6-Wechselrichters mit Zündelektronik
  - Realisierung verschiedener Fehlerfälle (z. B. Maschinenkurzschluss)

- 
- **Entwicklung eines Systemdemonstrators für die Energieversorgung dezentraler Anwendung mit SOFC-Brennstoffzelle**
    - Konditionierung der erzeugten elektrischen Energie des Demonstrators
    - Realisierung der Betriebsführung
    - Energiekonditionierung für Inselbetrieb
  - **Entwicklung und Erprobung einer Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC) mit einer parallelen Systemarchitektur**
    - Konditionierung der erzeugten elektrischen Energie des Demonstrators
    - Realisierung der Betriebsführung
  - **Propanbetriebene SOFC-Brennstoffzellen mit partieller Anodenabgas-Rückführung (AAGR)**
    - Konditionierung der erzeugten elektrischen Energie des Demonstrators
    - Realisierung der Betriebsführung
  - **Schutz und EMV-Aspekte bei modernen Leistungshalbleitern**
    - Verbesserung des Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern
    - Untersuchung des thermischen Verhaltens
    - Reduzierung elektromagnetischer Störungen
  - **Aufbau eines Steer-by-wire-Prüfstandes als Versuchs- und Demonstrationsanlage**

Das Ziel des Steer-by-Wire-Projekts der TU Clausthal ist es, ein elektronisches Lenkrad für Automobile zu entwickeln, das eine konventionelle Autolenkung durch ein verteiltes mechatronisches System ersetzt. Projektpartner sind hier neben dem Institut für Elektrische Energietechnik, das Institut für Informatik (Prof. Richter) und das Institut für Elektrische Informationstechnik (Prof. Vossiek).

Bei einem elektronischen Lenkrad werden die Vorderräder mit Hilfe redundant ausgelegter Elektromotoren in Echtzeit bewegt. Insbesondere gibt es keine mechanische Verbindung mehr zwischen Lenkrad und Vorderrädern. Anstelle der Lenksäule nimmt eine Drehwinkelgeber am Lenkrad den Lenkeinschlag auf, und ein Drehmomentsensor misst das vom Fahrer ausgeübte Drehmoment. Ein Computer liest über ein Echtzeit-Rechnernetz Winkel und Drehmomentdaten ein, verarbeitet diese und gibt entsprechende Stellwerte an die beiden Elektromotoren der Vorderräder aus. Ein dritter Elektromotor ist an das Lenkrad angeschlossen und simuliert für den Fahrer die Kraft, die die Straße bei vorhandener Lenksäule auf das Lenkrad ausüben würde. Diese nachgeahmte taktile Rückmeldung zeigt dem Fahrer die Fahrbahnbeschaffenheit an und

## Projektübersicht

---

verhilft ihm zu einem natürlichen Fahrgefühl. Der Prüfstand ist im Wesentlichen als Versuchs- und Demonstrationsanlage für Mechatronikstudenten gedacht, dient aber zusätzlich der Informatik als Forschungsplattform zum Test und zur Implementierung eines neuartigen innovativen Buskonzeptes.



Bild 1: Lenkradaktuator des Steer-by-wire-Prüfstandes

In einem späteren Entwicklungsabschnitt wird das System in eine Virtual-Reality-Umgebung eingebunden, um die fahrdynamischen Situationen auch visuell umsetzen zu können.



Bild 3: Radstellaktuator des Steer-by-wire-Prüfstandes

- 
- **Virtuelle Synchronmaschine (VISMA)**
    - Nachbildung des selbstorganisierenden Parallelbetriebs von Synchronmaschinen auf einem Einspeisenumrichter
    - Beseitigung von Netzstabilitätsproblemen bei Netzintegration regenerativer Erzeuger
    - Aufbau und Betrieb eines Prototypen
  
  - **VISMA für den Energiepark Clausthal**
    - Gezielte Dämpfung von Oberschwingungen
    - Zusätzlich die Möglichkeit von Unterschwingung- und Unsymmetriekompensation
  
  - **Optimierte Wind-Diesel-Hybridsysteme in Inselnetzen**
    - Entwicklung eines marktfähigen Konzeptes für hybride Inselsysteme mit hohem Windenergieanteil zur Elektrifizierung ländlicher Gebiete
    - Abschätzung der Energiegestehungskosten
    - Aufbau eines Prototyps zur Energieeinspeisung



<b>Projekt:</b>	Entwicklung adaptiver Dämpfungsregler zur Reduzierung von multifrequenten Schwingungen
<b>Problem:</b>	Ein Problem des Kalt- und Warmwalzens ist das Auftreten von selbsterregten Schwingungen. Diese selbsterregten Schwingungen werden beim Kaltwalzen als <i>Brummer</i> und beim Warmwalzen als <i>Rattern</i> bezeichnet. Sie treten bei verschiedenen Walzgerüstkonstruktionen, z.B. bei Anlagen mit Kammwalzgetriebe und Anlagen mit Zwillingsantrieben auf und beeinflussen die Qualität des Walzgutes nachteilig. So kommt es beim Rattern zu <i>Rattermarken</i> auf dem Walzgut. Die Frequenz der Schwingung liegt beim Warmwalzen in einem Band von 30 bis 70 Hz und beim Kaltwalzen zwischen 90 und 250 Hz. Einflußgrößen für diese selbsterregte Schwingung sind die Bandgeschwindigkeit, der Schmierstoff, die Materialbeschaffenheit des Walzguts, unrund geschliffene Walzen und Lagerdefekte.
<b>Ziel:</b>	Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen strukturoptimierten Dämpfungsregler zu entwickeln, welcher ein breites Frequenzband dämpft. In einem späteren Abschnitt sollte der Dämpfungsregler soweit vereinfacht werden, so dass für die jeweiligen unterschiedlichen Betriebspunkte keine weitere Feinabstimmung nötig ist.
<b>Projektstand:</b>	Der erste Schritt zur Realisierung eines adaptiven Dämpfungsreglers war das Verschalten mehrerer einzelner Dämpfungsregler, die für jeweils einen bestimmten Frequenzbereich optimiert wurden. Das Signal zum Umschalten lieferte eine über eine rechenintensive FFT realisierte Frequenz- und Amplitudenüberwachung. In einem nächsten Schritt wurde die Rechenintensive FFT durch einen einfachen Phasenregelkreis ersetzt. Er liefert das Signal für einen durchstimmbaren Phasenkorrekturfilter, der für alle Frequenzen gleichermaßen arbeitet.
<b>Veröffentlichung:</b>	Beck, H.-P.; Turschner, D.; Stichweh, H.: Entwicklung adaptiver Reglerstrukturen zur Dämpfung von multifrequenten selbsterregten Schwingungen in Walzwerks-Antriebssystemen. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben VFWH/AW-136. Düsseldorf: VFWH, 2005

Beck, H.-P.; Turschner, D.; Hesse, R.: Strukturoptimierter adaptiver Dämpfungsregler zur Reduzierung von selbsterregten multifrequen-ten Schwingungen in mechatronischen Systemen  
Schlussbericht zum Forschungsvorhaben VFWH/AW-137. Düsseldorf:VFWH, 2007

**Projektpartner:** VFWH Düsseldorf

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)  
turschner@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

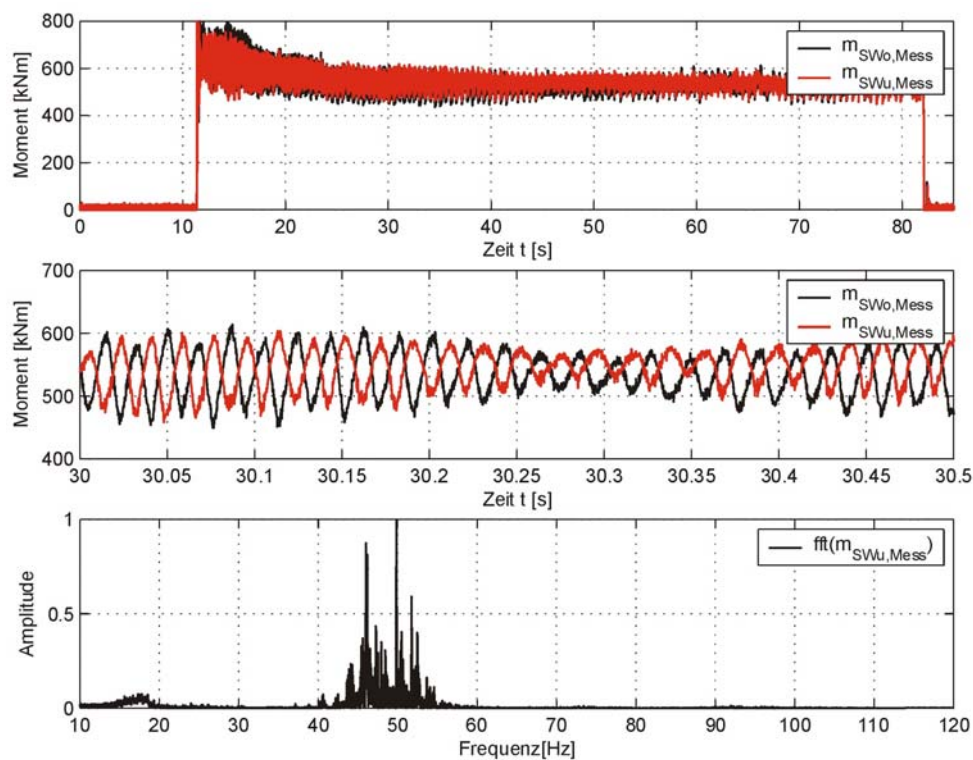


Bild 1: Messung des Ratterphänomens an einem Walzwerkkantrieb. Dargestellt ist das untere und obere Spindelmoment. Das angeregte Frequenzband liegt zwischen 40 und 60 Hz (Messung von Geirhofer, R.; Sondermann, H.; Nettelbeck, L.; Ungerer, W.: Optimising and monitoring the impact of friction, wear and lubrication in hot rolling. Technical steal research, Final report, EUR 20209 EN, 2002)

**Projekt:** Entwicklung adaptiver Dämpfungsregler zur Reduzierung von multifrequenten Schwingungen

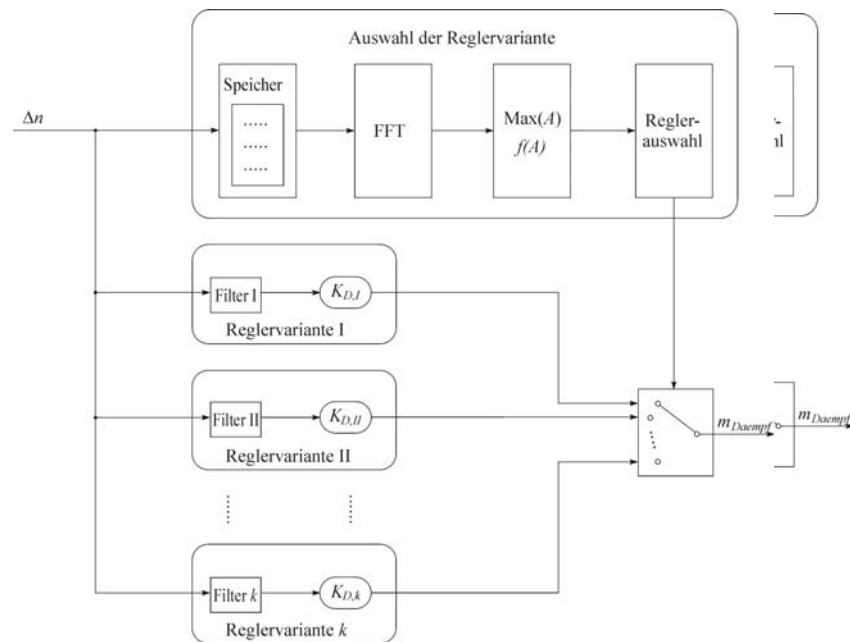


Bild 2: Bisherige Struktur eines frequenzabhängig schaltenden Adaptivreglers. Die Reglerauswahl findet über eine DFT statt. Nachteil: Aufwendige Berechnung der FFT, Strukturumschaltung während des Betriebs.

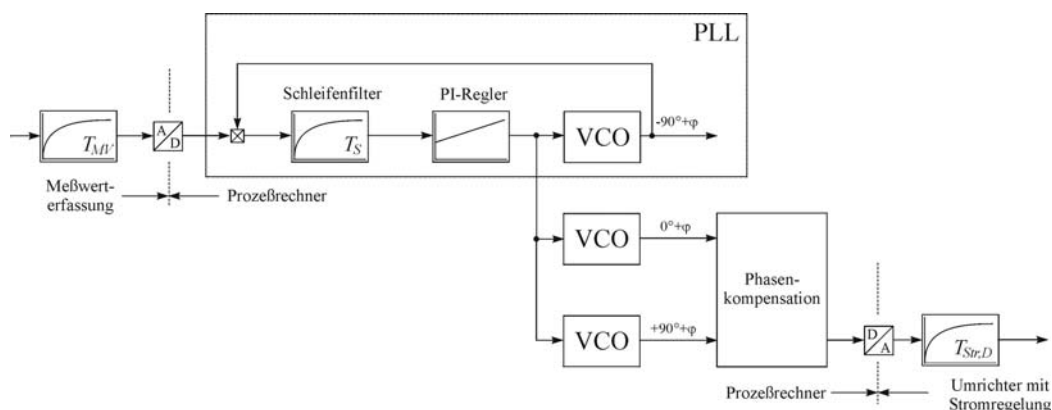


Bild 3: Neuer strukturoptimierter Dämpfungsregler. Der Dämpfer besteht aus der Kombination von Phasenregelkreis (PLL) und Phasenkompensationsfilter (VCO: Voltage Controlled Oscillator)



**Projekt:** Betriebszustände einer Windenergieanlage

---

**Problem:** Der Windrotor folgt den Schwankungen der Windgeschwindigkeit und führt damit zu dynamischen Belastungen der mechanischen Triebstrangkomponente. Permanente Windturbulenzen und Windböen führen zu einer Materialermüdung und damit zu einer Reduzierung der Getriebelebensdauer. Auf der anderen Seite kann eine Belastung durch Störungen des Netzes auftreten. Diese Netzstörung sind z.B. ein 2- bzw. 3-phasiger Kurzschluss und das Wiedereinschalten in Phasenopposition nach einer kurzen Unterbrechung der Netzspannung. Im Rahmen der Arbeit wird das dynamische Verhalten des Triebstranges bei Netzstörungen untersucht, die einen negativen Einfluss auf das Windgetriebe haben.

**Ziel:** Untersuchung des dynamischen Verhaltens des Triebstranges in Abhängigkeit von Netzstörungen

**Stand der Technik:** Asynchrongenerator und Windgetriebe als Überlastsicherung

**Lösungsweg:**

- Simulation des Triebstranges unter Berücksichtigung der definierten Betriebszustände
- Realisierung eines Versuchsstandes
- Verifikation der Simulationsergebnisse am Prüfstand

**Prüfstand:** Der Prüfstand besteht aus einem Asynchronmotor, einer Gleichstrommaschine und einem Getriebe.

**Aktueller Stand der Arbeit:** Prüfstandsaufbau + Messungen

**Veröffentlichung:** Musasa, T. B.; Beck, H.-P.: *Synthese von Antriebssträngen. Neues mathematisches Modell einer hydrodynamischen Kupplung.* Antriebstechnik 10/2005, S. 70-75

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Tambwe Benoit Musasa (Tel.: 72-2939)  
musasa@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

---

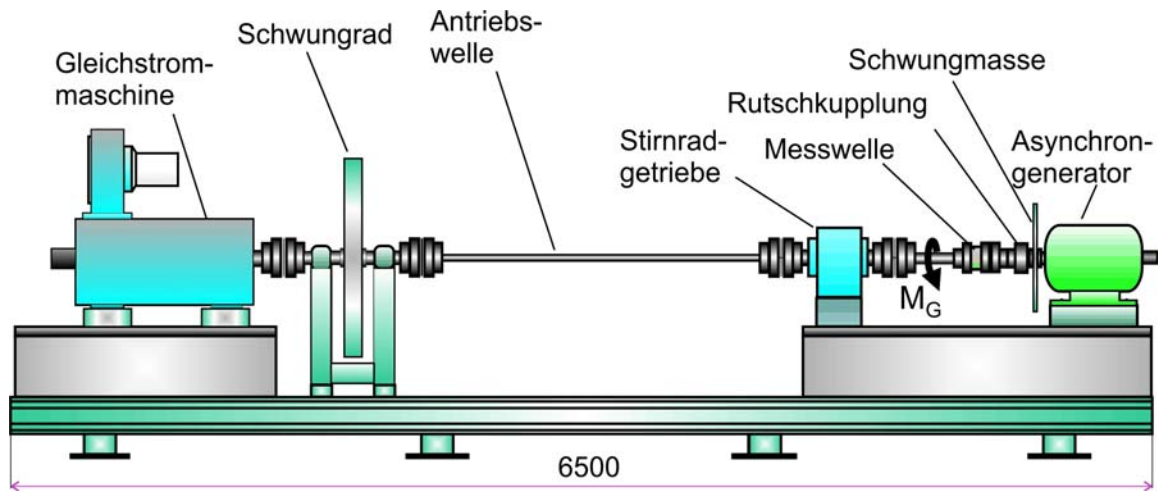


Bild 1: Schematischer Aufbau des Versuchsstandes

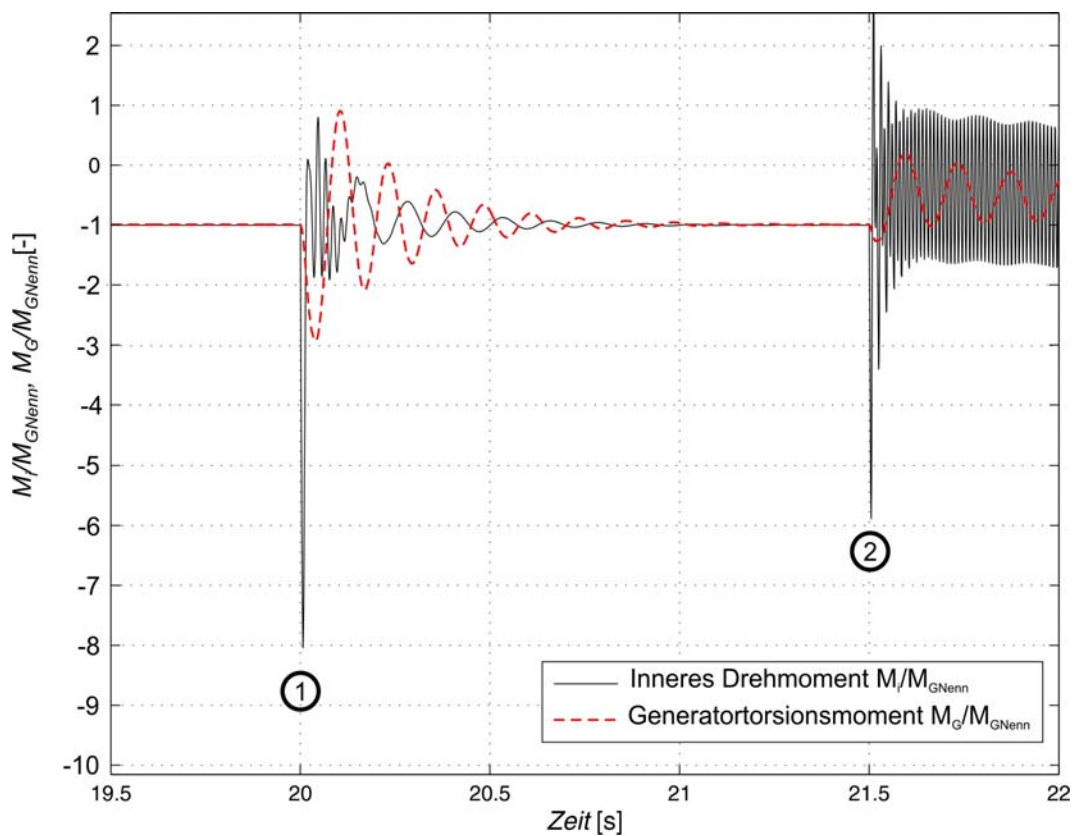


Bild 2: Simulierter Zeitverlauf des inneren Generator Drehmomentes  $M_i$  und des Generator torsionsmomentes  $M_G$  bei ASM-Netzumschaltung mit Phasenopposition (1) und 2-phasi-gem Netzkurzschluss (2)

**Projekt:** Leistungselektronische Ausstattung von Getriebeprüfständen

---

**Problem:** Der Einsatz von Hochleistungsgetrieben konventionellen und insbesondere regenerativen energietechnischen Anlagen stellt erweiterte maschinenbauspezifische Anforderungen an Material, Zuverlässigkeit und Wirkungsgrad solcher Einrichtungen. Die mechanischen Bestandteile von Windenergieanlagen sind hierbei speziell den wechselnden Momentenbelastungen ausgesetzt, die aus dem stochastischen Aufkommen der Windenergie resultieren. Treten ferner Störungen auf der elektrischen Seite des energietechnischen Systems auf, wirken sich diese zusätzlich als lebensdauerrelevante Belastung für das mechanische System aus. Typische Verschleißerscheinungen solcher Getriebe treten in Gestalt von Zahnflankenabrieben oder -abbrüchen auf.

**Lösungsweg:** Für die Untersuchung von Verschleißerscheinungen, die aus den Wirkungen elektrischer Fehlerfälle resultieren, wurde ein vorhandener Getriebeprüfstand stromrichtertechnisch ausgestattet, um die als Generator betriebene Asynchronmaschine des Versuchsstandes in vorgesehenen Betriebspunkten zu fahren, um aus diesen heraus Störfälle nachzubilden. Hierzu wird der Asynchrongenerator mit einem IGBT-Wechselrichter betrieben, mit dessen Hilfe zunächst Spannungsschwankungen und –kurzzeiteinbrüche sowie Frequenzveränderungen untersucht wurden. Der Prüfstand wurde zusätzlich mit einem W3C-Thyristorschalter ausgestattet, um zwei- sowie dreiphasige Generatorkurzschlüsse zu untersuchen. Ein Prozeßrechner bildet dabei die Schaltimpulse der B6-Wechselrichterbrücke sowie geringfügig zeitversetzt das Vorzündsignal des W3C-Schalters. Dessen Zündelektronik setzt das Vorzündsignal in ventilspezifische Teilzündsignale um, so dass der Generatorkurzschluß für die Dauer der erwarteten elektrischen Ausgleichsvorgänge erhalten bleibt. In der Anordnung nach Abb. 1 wurden die eingetragenen Größen um den Zeitpunkt des Kurzschlusses aufgenommen. Die Verläufe in Abb. 2 zeigen den elektrischen Ausgleichsvorgang im Generator nach Kurzschlußeintritt. Da die Maschine zum Kurzschlußzeitpunkt noch magnetisiert ist, klingt der Maschinenstrom im Wesentlichen mit der Statortzeitkonstante ab. Die Zündelektronik stellt dabei si-

cher, dass die W3C-Schaltung für jede noch verbleibende Maschinenstromhalbwellen sicher zündet.

Der Kurzschluß am Generator bedingt ein hohes, impulsförmiges Moment an der Maschinenwelle, da der mechanische Aufbau sehr große Trägheitsmomente beinhaltet. Die Momentenverlaufsanalyse erlaubt Rückschlüsse auf die Belastung des zu untersuchenden Getriebes sowie die Schwingungsmoden des mechanischen Systems.

**Projektstand:** Abgeschlossen

**Förderung:** Hansen Transmissions

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Ralf Hesse (Tel.: 72-3821)  
ralf.hesse@tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

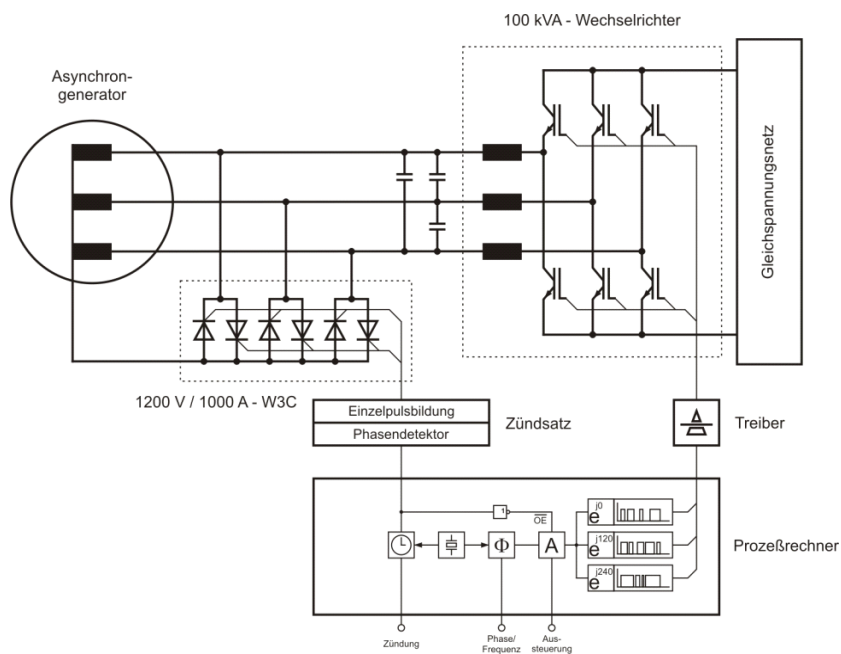


Bild 1: Leistungselektronische Ausstattung des Getriebepfandstandes



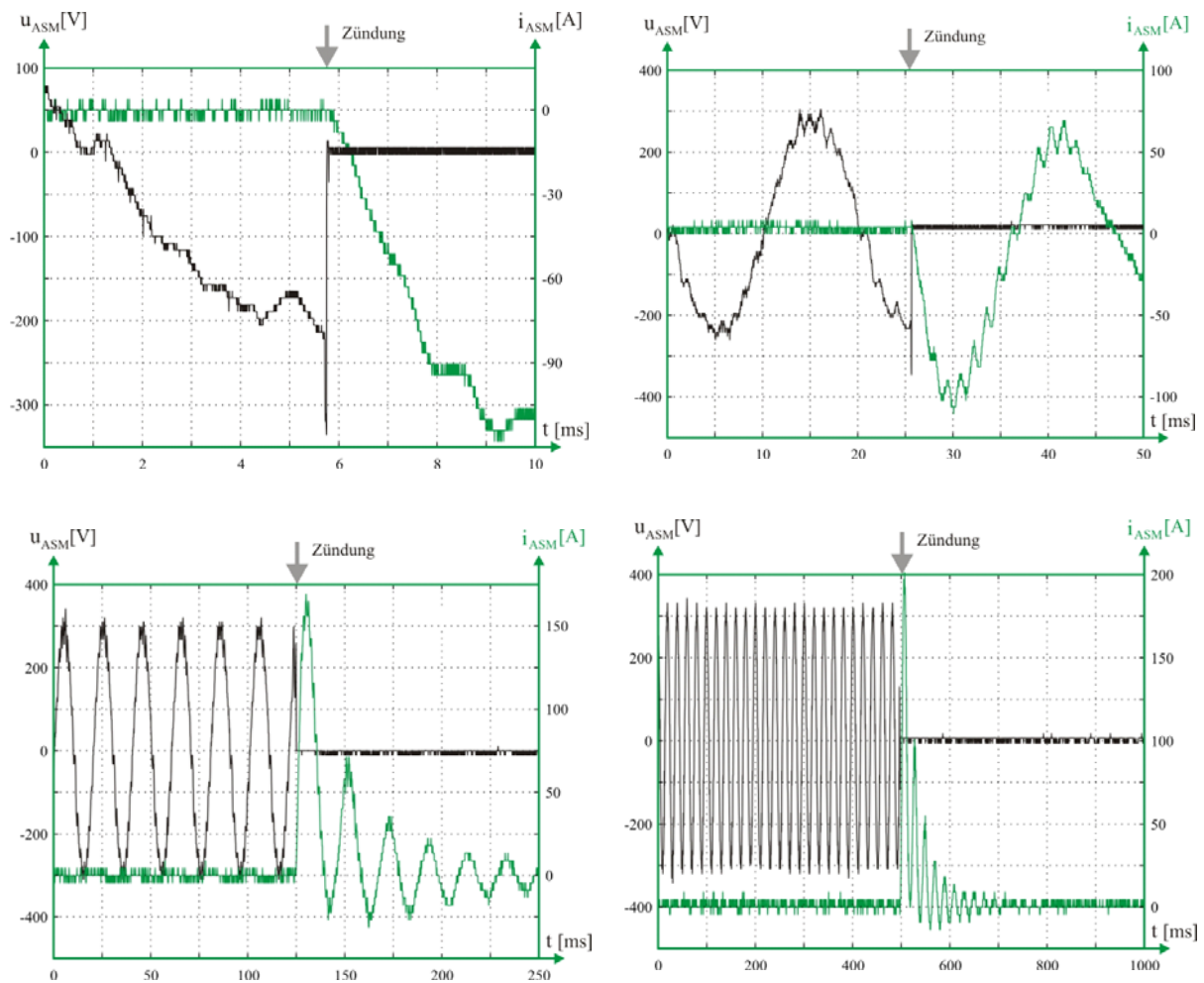


Bild 2: Spannung (schwarz) und Strom (grün) einer Phase des leerlaufenden Asynchrongenerators um den Zeitpunkt des Kurzschlusses für 4 Versuche in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung



**Projekt:** Entwicklung eines Systemdemonstrators für die Energieversorgung dezentraler Anwendung mit SOFC-Brennstoffzelle

**Problem:** In dezentralen Aufenthaltsbereichen wie Booten, Wohnwagen, Wohncontainern etc. wird vielfach kontinuierlich elektrische Energie und temporär Wärme benötigt. Brennstoff ist in den meisten Fällen Flüssiggas, ein Gemisch aus vorwiegend Propan und Butan. Hier bietet sich ein weites Feld für den Einsatz von Brennstoffzellensystemen.

**Ziel:** Im Rahmen dieses Projektes soll in Zusammenarbeit mit anderen Firmen und Instituten ein Systemdemonstrator mit einer Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) erstellt werden. Dieser Demonstrator wird aus den Hauptkomponenten Entschwefelung, Reformer, SOFC-Stack, Nachverbrennung, Heizung und Konditionierung bestehen (Bild 1). Das Institut für Elektrische Energietechnik ist in dem Vorhaben für die Konditionierung der erzeugten elektrischen Energie und die Betriebsführung verantwortlich.

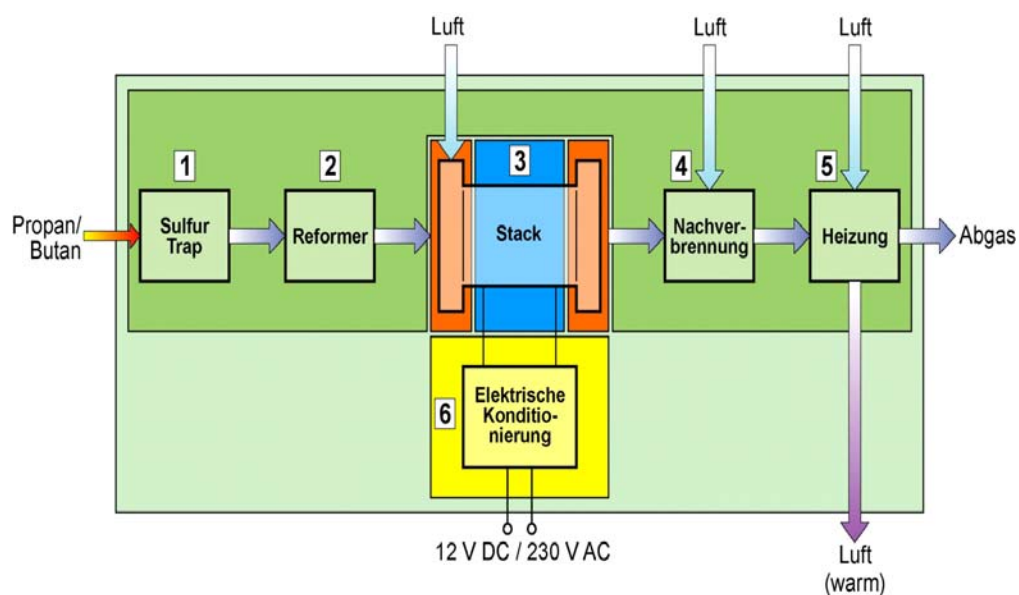


Bild 1: Übersicht über die Komponenten des Systemdemonstrators. Arbeitsgebiet 6 wird im IEE ebenso wie die Regelung und Betriebsführung des Gesamtsystems bearbeitet.

Die elektrische Energiekonditionierung muss einen Inselbetrieb mit der üblichen Spannungsqualität sicherstellen. Wichtige Aspekte sind die Umsetzung der erzeugten Spannung auf Netzniveau und Wechselrichtung, die Sicherstellung eines hinreichend sinusförmigen Verlaufs der Spannung, Lieferung und Bezug von Blindleistung und die

Realisierung in einer gewicht- und volumensparenden Lösung für die mobile Anwendung.

Die Betriebsführung des Systems übernimmt ein zentrales Management, welches Brennstoffzellenstack, Reformer, Entschwefelung, Gasgemisch- und Regelungsanlage und Nachverbrennung bei jeder Lastsituation so einstellt, dass keine unzulässigen Betriebszustände entstehen und immer ein optimierter Energiewandlungsprozess erreicht wird.

### Projektstand:

Das Projekt ist abgeschlossen.

Als erster Schritt wurde zur Untersuchung der Brennstoffzellenstacks ein Prüfstand in der CUTEC GmbH aufgebaut. Der Prüfstand ist seit Dezember 2005 in Betrieb und liefert Messergebnisse, aus denen auf das Betriebsverhalten des Brennstoffzellenstacks zurückgeschlossen werden kann. Das Institut für Elektrische Energietechnik hat beim Prüfstandsaufbau die elektrische Verkabelung, Sensoren, Aktoren, Sicherheitsüberwachung und die Programmierung der Steuerung und der Mensch-Maschine-Schnittstelle übernommen.

Außerdem wurde die Elektrische Konditionierung konzipiert, aufgebaut und getestet. Den Aufbau der elektrischen Konditionierung zeigt Bild 2.

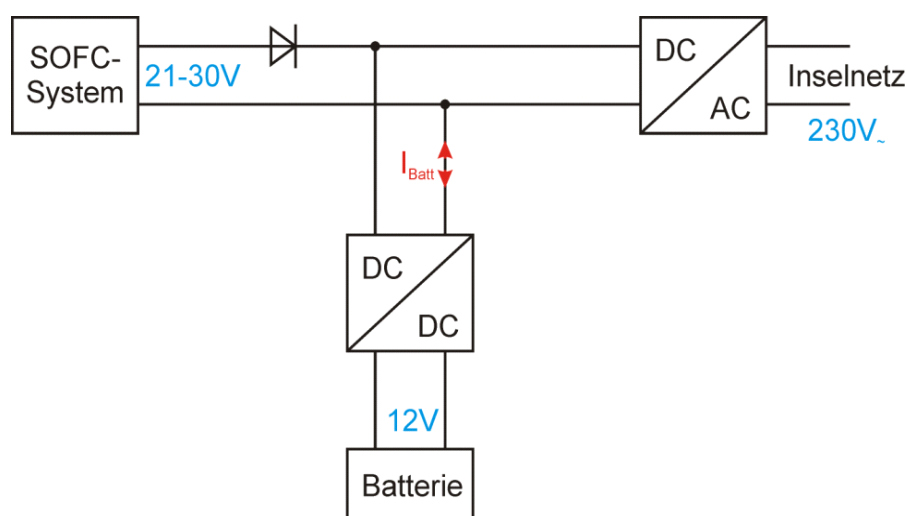


Bild 2: Übersicht über das elektrische System

**Projekt:** Entwicklung eines Systemdemonstrators für die Energieversorgung dezentraler Anwendung mit SOFC-Brennstoffzelle

---

Der Wechselrichter ist direkt an die Brennstoffzelle angeschlossen, die Batterie ist über einen Gleichspannungswandler angeschlossen und liefert parallel die fehlende Leistung oder nimmt überschüssige Leistung auf. Alle Ströme und Spannungen werden gemessen und einem Energiemanagement zugeführt, das den Batterieladezustand überwacht und die Brennstoffzellenleistung vorgibt

Bild 3 zeigt ein Foto des Gleichspannungsumrichters, mit dem die Batterie an den Zwischenkreis angekoppelt wird. Dieser Gleichspannungsumrichter stellt eine Zwischenkreisspannung ein, die gleichzeitig die Ausgangsleistung des Brennstoffzellenstacks bestimmt.

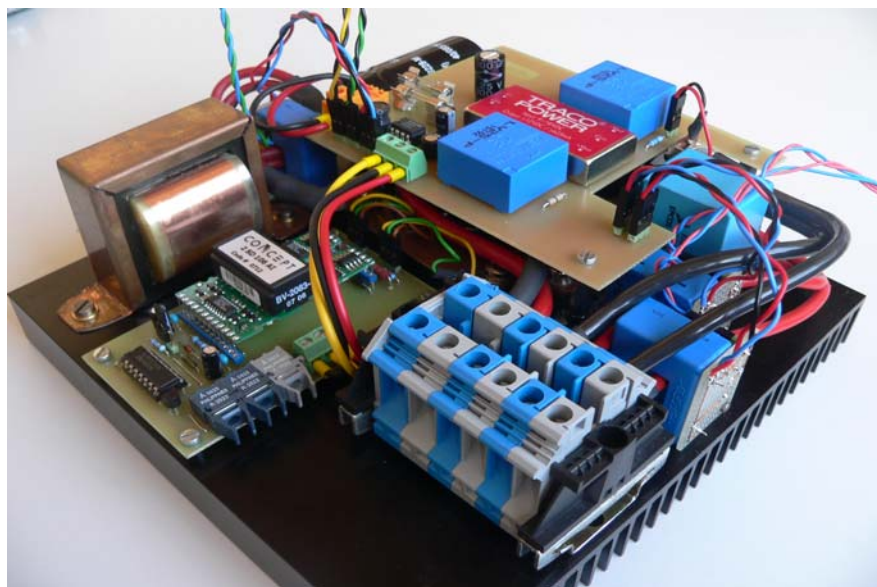


Bild 3: Aufbau des Gleichspannungsumrichters mit Halbleitern, Glättungseinrichtungen, Eigenversorgung, Sensoren und Ansteuerung

**Industriepartner:** CUTEC Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld  
H. C. Starck GmbH, Goslar

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Hanno Stagge (Tel.: 72-2594)  
stagge@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Tel.: 72-2570)



**Projekt:** Entwicklung und Erprobung einer Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC) mit einer parallelen Systemarchitektur

---

**Problem:** Bei den heute bekannten Konzeptionen der SOFC sind vor allem die Probleme der Gasdichtigkeit, der elektrischen Leistungsabnahme durch Degradation und des Temperaturmanagements im System sowie zu hohe System- und Funktionskosten die wesentlichen Technologiebarrieren. In einer Serienschaltung wird die niedrige Einzelzellenspannung auf höhere Werte geführt.

**Ziel:** In diesem Ansatz wird eine parallele Architektur des Einzelstapels verfolgt. Dies erzeugt eine hohe Ausfallsicherheit, außerdem werden die Probleme der Gasdichtigkeit und elektrischen Isolierung der Zellen gegeneinander verringert. Durch den Einsatz von Blechverarbeitungstechnologien kann eine kostengünstige Fertigung erreicht werden.

Die niedrige Ausgangsgleichspannung am Einzelstapel (bei hoher Stromstärke) wird unter modernen Methoden der Leistungselektronik auf ausreichende Endspannungen erhöht, um damit Verbraucher speisen zu können.

**Projektstand:** Im Institut für Elektrische Energietechnik wurden verschiedene Konzepte zur Umsetzung der elektrischen Leistung untersucht. Um eine Leistung von 200W bei einer Eingangsspannung von 2,8V auf 12V mit hohem Wirkungsgrad hochsetzen zu können, wurde ein Parallelkonzept umgesetzt, bei dem mehrere einzelne Hochsetzstellereinheiten versetzt angesteuert werden. Bild 1 zeigt das Grundkonzept.

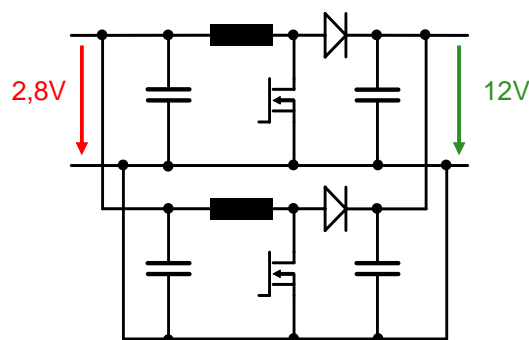


Bild 1: Grundkonzept des einzusetzenden Gleichspannungswandlers. Um den Stromfluss in den einzelnen Bauteilen gering zu halten und zusätzlich eine Vergleichmäßigung des Stromflusses zu erzielen, werden mehrere Hochsetzstellereinheiten (im Bild zwei Einheiten gezeigt) parallel geschaltet und versetzt angesteuert.

---



Für erste Tests wurden Doppelwandler entwickelt, die eine Leistung von 50 W übertragen können. Außerdem wurde ein 8fach-Hochsetzsteller entwickelt, der eine Leistung von 200 W bei einem Schaltungswirkungsgrad von 90 % übertragen kann. In allen Schaltungen werden modernste Bauelemente in SMD-Technik eingesetzt.

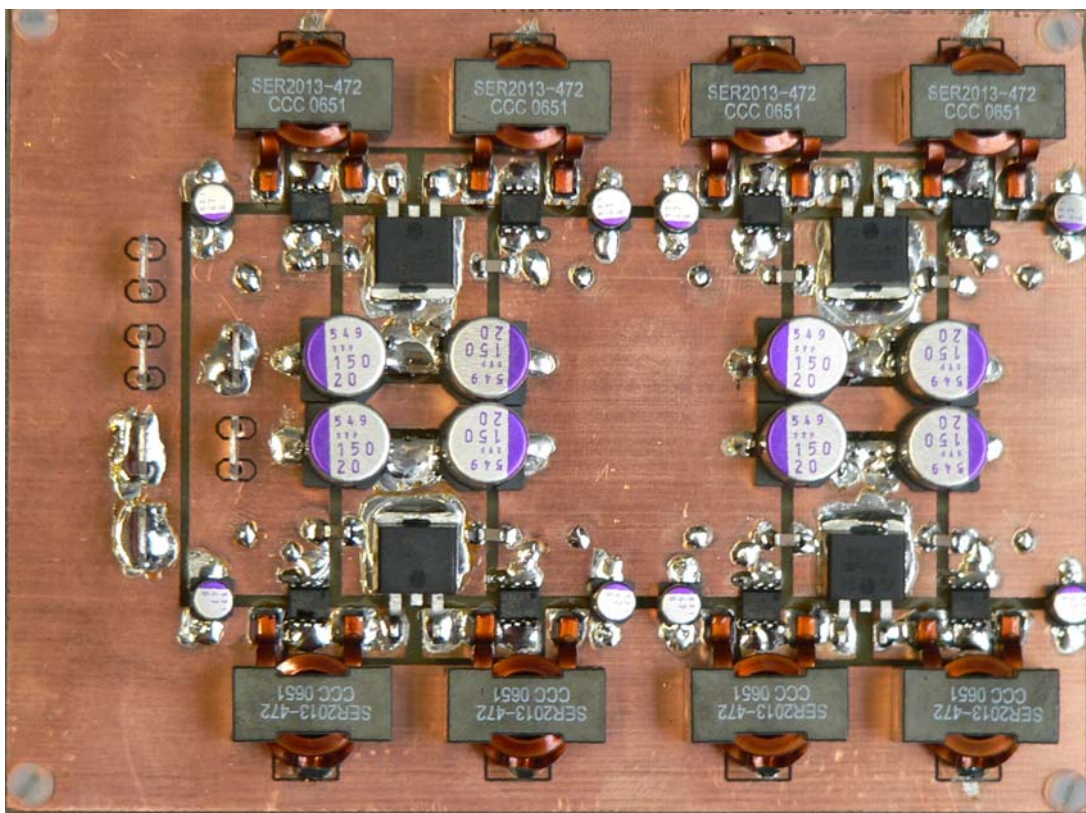


Bild 2: Foto des 8fach-Hochsetzstellers für eine Ausgangsleistung von 200 W. Die Ansteuerung befindet sich auf der Rückseite der Platine

Weitere Optimierungen, die im Rahmen des Projektes noch durchzuführen sind, betreffen:

- Übergang zum 6fach-Wandler für die Leistung von 200 W zur Bauelementereduzierung
- Überstrombegrenzungsschaltung
- Kühlkonzept



**Projekt:** Entwicklung und Erprobung einer Hochtemperaturbrennstoffzelle (SOFC) mit einer parallelen Systemarchitektur

---

- Freilaufdiode durch Synchron-Mosfet
- Messungen der elektrischen Größen und Regelung des Hochsetzers

**Industriepartner:** CUTEC Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld  
GEA Ecoflex GmbH, Sarstedt

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Hanno Stagge (Tel.: 72-2594)  
stagge@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Tel.: 72-2570)



<b>Projekt:</b>	Propanbetriebene SOFC-Brennstoffzellen mit partieller Anodenabgas-Rückführung (AAGR)
<b>Problem:</b>	Das diesem Forschungsantrag zugrunde liegende neuartige Konzept verfolgt einen integrativen Ansatz für das Gesamtsystem Reformierung und Brennstoffzelle, wobei der Wirkungsgrad erheblich verbessert werden soll. Die Zielsetzung wird durch partielle Rückführung des Anodenabgases der Brennstoffzelle erreicht. Dieses Gas verfügt über Wasserdampf und Kohlendioxid, welches effizient für die Reformierung (mit Wasserdampf – steam-reforming bzw. mit Kohlendioxid – dry-reforming) zu neuem Brenngas für die SOFC-Brennstoffzelle eingesetzt werden können. Zugleich kann die thermische Energie des heißen Anodenabgases in direkter Wärmerückführung ergiebig eingekoppelt werden.
<b>Ziel:</b>	Das Forschungsprojekt weist einen stark interdisziplinären Charakter auf, in dem verfahrenstechnische Herausforderungen (Anlagen- und Reaktordesign) mit regelungstechnischen Fragestellungen (Gasrückführung, Umschalten vom Anfahrprozess zur AAGR) gekoppelt sind. Das Institut für Elektrische Energietechnik ist in diesem Projekt für die Konzipierung der Regelung des AAGR-Systems und die Umsetzung der Steuerung für den Prüfstand verantwortlich.
<b>Projektstand:</b>	Im IEE wurde ein Simulationssystem konzipiert und aufgebaut, mit dem die Regelung des AAGR-Gesamtsystems hardwarenah getestet werden kann, ohne direkt am Teststand arbeiten zu müssen. Dazu wurde die später am Teststand zur Regelung und Betriebsführung eingesetzte SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) mit einem Matlab™-dSPACE™-System gekoppelt. Damit kann das vom Projektpartner IWBT der TU-Braunschweig in der Software Matlab/Simulink™ erstellte Modell die Sensordaten für die SPS zur Verfügung stellen. Zurzeit läuft eine Studienarbeit zur Inbetriebnahme des Simulationssystems. Anschließend soll das Modell vom IWBT auf dem Simulationssystem integriert werden, um das Verhalten der AAGR besser verstehen zu können, eine Regelung für das System zu entwerfen und diese Regelung mit der SPS zu testen.



Bild 1: Simulationssystem mit Matlab-dspace-Verbindung und SPS

<b>Projektpartner:</b>	CUTEC Institut GmbH, Clausthal-Zellerfeld ZBT GmbH, Duisburg	
<b>Bearbeiter:</b>	Dipl.-Ing. Hanno Stagge stagge@iee.tu-clausthal.de	(Tel.: 72-2594)
<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck	(Tel.: 72-2570)

**Projekt:** Schutz- und EMV-Aspekte bei modernen Leistungshalbleitern

---

**Problem:** Aufgrund schneller Schaltfrequenzen bzw. sehr steiler Flankzeiten (nsek. bei MosFets bis  $\mu$ sek. bei IGBTs) müssen sowohl die Halbleiterbauteile als auch die Schaltkreise hohe Ansprüche erfüllen. Die in Leistungshalbleitern erzeugten Durchlaß-, Sperr-, Einschalt- und Ausschaltverluste müssen über die Kühlkörper abgeführt werden, was eine Dämpfung thermischer Vorgänge verursacht. Der notwendige Schaltvorgang verursacht unerwünschte elektrische Störungen, wie Netzurückwirkungen, ( $f < 2$  kHz) oder Funkstörungen ( $f > 10$  kHz), die in Grenzen gehalten werden sollen.

**Ziel:**

- Verbesserung des störungsbehafteten Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern
- Untersuchung des thermischen Verhaltens insbesondere bei zeitveränderlichen Beanspruchungen
- Reduzierung der von Halbleitern verursachten elektromagnetischen Störungen und Netzurückwirkungen

**Stand der Technik:**

- Mehrere Schaltaufgaben in der Leistungselektronik werden heute mit steuerbaren Elementen wie: MOSFETs (**M**etal **O**xide **S**emiconductor **F**ield **E**ffect **T**ransistors,  $I < 1$  kA) oder IGBTs (**I**nsulated **G**ate **B**ipolar **T**ransistors,  $I < 2$  kA) oder GTOs (**G**ate **T**urn **O**ff,  $I < 3,5$  kA) erfüllt.
- Die aktuellen Weiterentwicklungen von Halbleitern konzentrieren sich auf: Senkung der Schaltverluste, Erhöhung der Überstrom-, Überspannungsfestigkeit und Stromdichte bei gleichzeitiger Reduzierung von Chipfläche und Kosten, Modularisierung der Konstruktion und Integration von Zusatzfunktionen wie Überwachungs-, Schutz- und Treiberfunktionen u.a.
- Entscheidend für den Schaltvorgang ist gegenüber dem Schaltelement auch das Vorhandensein von Freilaufdioden im Leistungskreis und zwar mit Soft-Recovery-Verhalten.
- Moderne Leistungselemente wie die CoolMOSs haben 50 % der Durchlaßverluste von klassischen PowerMOSs und die Gatekapazität und -ladung ist ebenfalls um ca 50 % reduziert.
- Andere Fortschritte werden durch Einsatz vom SiC-Halbleiter (Siliziumkarbid) erwartet, wie Betriebstemperaturen bis 500°C, viel niedriger Durchlaßwiderstand, höhere Durchbruchfeldstärke,

---

<b>Lösungsweg:</b>	<p>schmales Driftgebiet bzw. kleinere Speicherladungen.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- theoretische Analyse und mathematische Modellierung des Schaltvorgangs verschiedener Leistungshalbleiter: IGBT, Power-MOS, Schottky sowohl aus Si als auch aus SIC-Materialien.</li><li>- simulationstechnische Überprüfung und experimentelle Validierung der Schaltvorgangsform in Abhängigkeit von vorhandenen Leistungs- und Schutzkreisen.</li><li>- Optimierung zwischen Schaltfrequenz und der Gesamtenverluste für verschiedene Halbleitergruppen mit Freilauf- und Beschaltungskreisen.</li><li>- Erstellung eines übersichtlichen Mess-Programms zur Erfassung der leitungsgebundenen und leitungsungebundenen EMV-Störungen ist vorgesehen.</li></ul>
<b>Projektstand:</b>	<p>Der Prüfstand zum Testen von Kommutierungsvorgängen verschiedener Leistungshalbleiter (I bis 100 A, f bis 25 kHz) wurde aufgebaut (Bild 3). Auf theoretischen Wegen wurde sowohl das elektrische Ersatzmodell als auch das thermische Modell aufgestellt und experimentell validiert.</p> <p>Der Einfluß externer passiver Bauteilen (Bild 2), des Schutzkreises (Bild1) und des Layout wurden simulationstechnisch und experimentell untersucht. Für verschiedene Halbleiter, Beschaltungen, Schaltungstopologien und –frequenzen wurde die Spektralanalyse des Netzstromes durchgeführt. Einfache und passive Maßnahmen zur sofortigen Verbesserung des EMV-Verhältnisses (Bild.4) wurden auf ihre Wirkung geprüft.</p>
<b>Veröffentlichung:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Netzgespeister Asynchronmaschine mit elektronischer Käfigumschaltung zur aktiven Schwingungsdämpfung. Dissertation TU Clausthal Jan. 2003.</li><li>- Beitrag zur Erhöhung des Wirkungs- und Sicherheitsgrades von Anlagen der Antriebstechnik. AT 32/2004 CNCSIS Forschungsvorhaben, finanziert durch rumänisches MBF, Bukarest 2004.</li><li>- Control System with Torque Observer for Oscillations Damping of the Induction Machine,</li></ul>

**Projekt:** Schutz- und EMV-Aspekte bei modernen Leistungshalbleitern

MicroCAD 05 Konferenz, Technische Universität Miskolc, März 2005. Ungarn.

- Generation of Pulse With Modulation Pattern with 16 bit Micro-controller

Simpro 2006 - Symposium. Universität Petrosani, Okt. 2006. Rumänien

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Adrian Tulbure  
Universität Petrosani, Rumänien

**Projektleiter:** Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

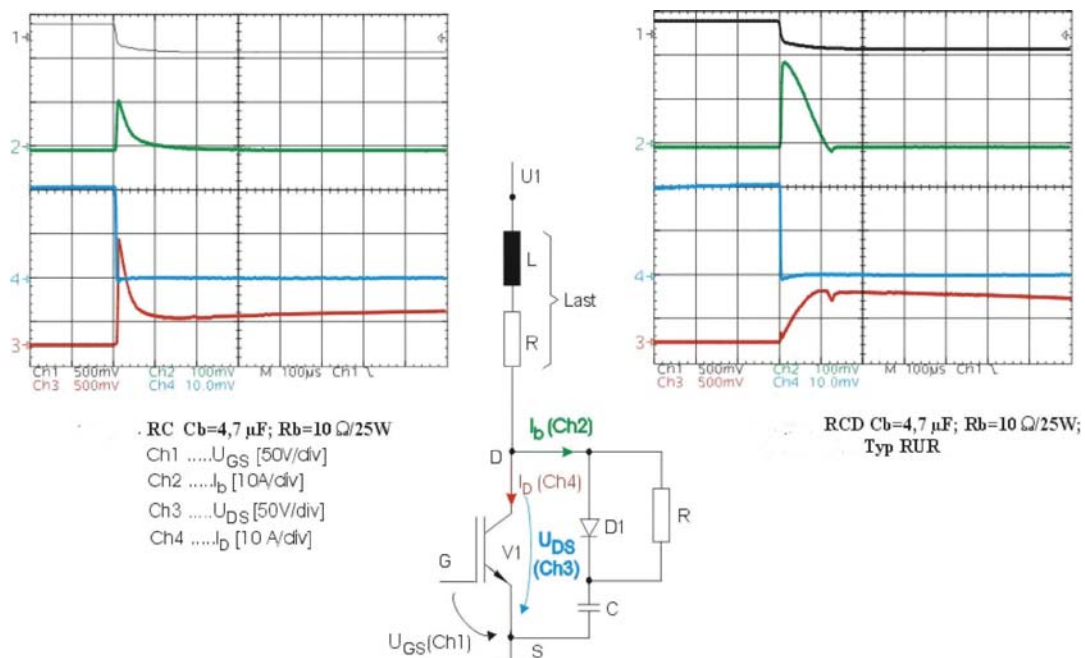


Bild 1: Experimentelle Untersuchung des Überspannungsschutzkreises

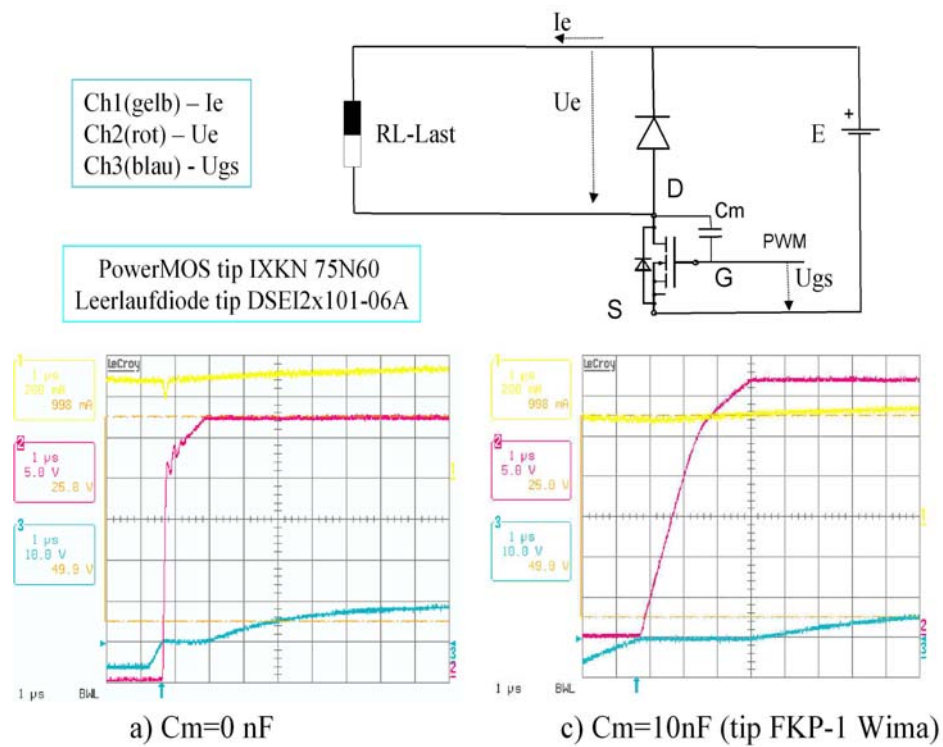


Bild 2: Einfluss der externen Miller-Kapazität über das Schaltverhalten/Schaltzeit

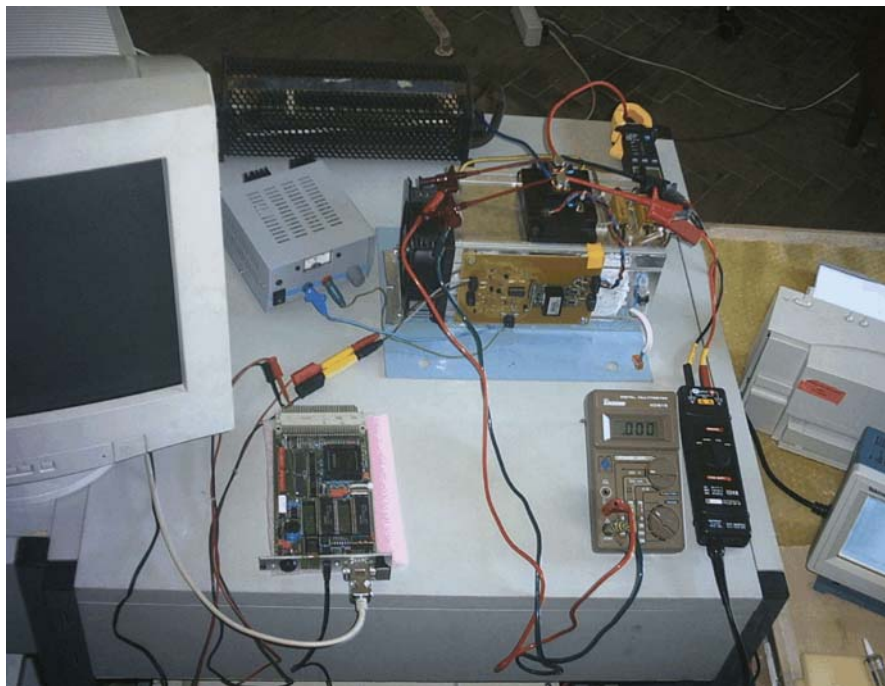


Bild 3: Prüfstand der Leistungs- und Mikroelektronik an der Universität Petrosani



Projekt: Schutz- und EMV-Aspekte bei modernen Leistungshalbleitern

SCANTABELLE: "U214 LA01G SB 30MHz"

Kurzbeschreibung:		GMS SB DC Commonmode				
Start-	Stop-	Schritt-	Detektor	Meß-	2F-	Transducer
Frequenz	Frequenz	weite		zeit	Bandbr.	
10.0 kHz	150.0 kHz	100.0 Hz	MaxPeak	5.0 ms	200 Hz	pilller EZ-17 neu
150.0 kHz	30.0 MHz	500.0 Hz	MaxPeak	5.0 ms	1 kHz	pilller EZ-17 neu

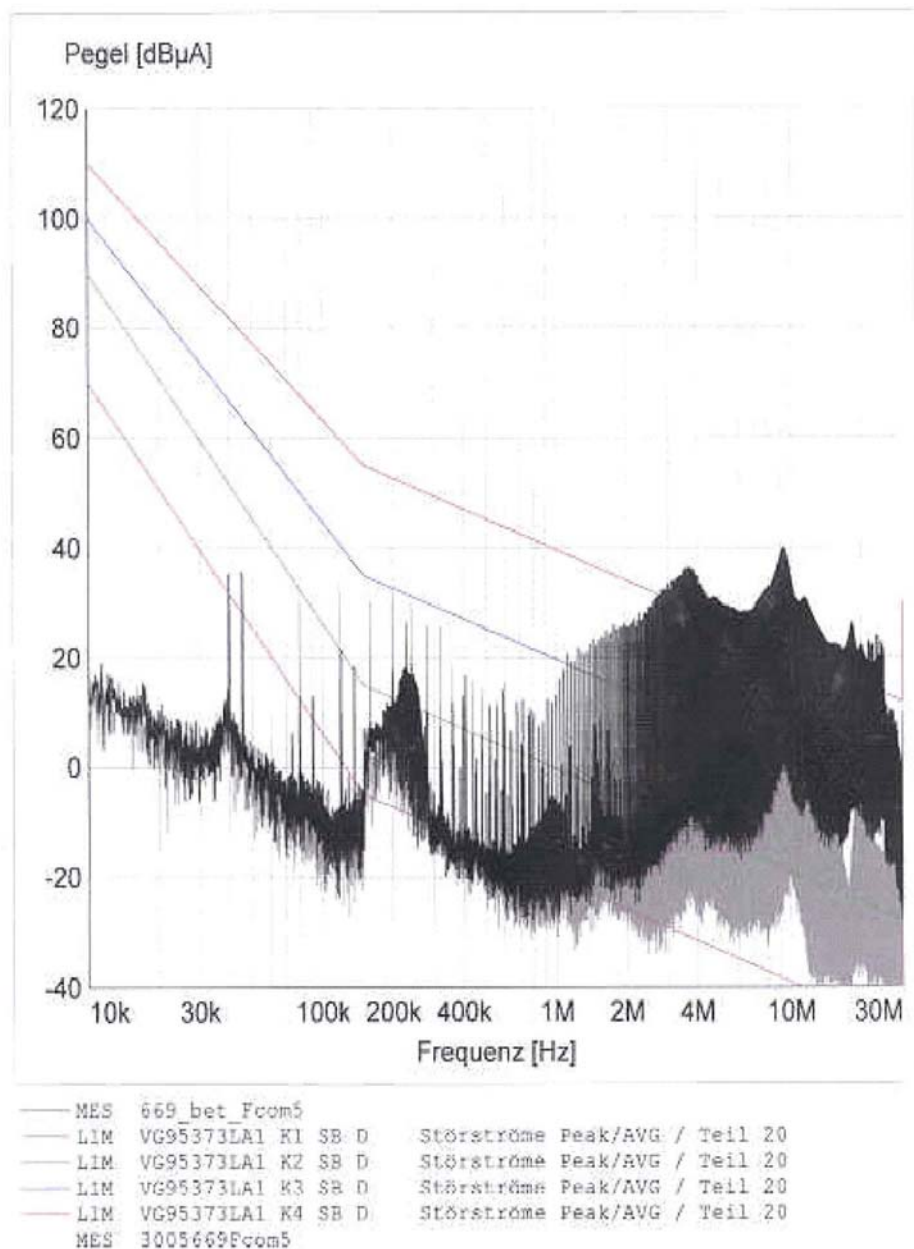


Bild 4: EMV-Verhältnis



**Projekt:** Virtuelle Synchronmaschine (VISMA)

---

**Problem:** Die weitere Netzintegration regenerativer Erzeuger des unteren und mittleren Leistungssegments führt aufgrund ihrer großen Zahl und der Verteilung im Netz zu Netzstabilitätsproblem, wenn nur herkömmliche stromrichtertechnische Mittel zur Kopplung eingesetzt werden. Oftmals sind derartige Einrichtungen ausschließlich zur anspruchslosen Einspeisung des Energieertrages ohne Berücksichtigung der für den sicheren Netzbetrieb wünschenswerten Eigenschaften konzipiert.

**Ziel:** Der bewährte, sichere und selbstorganisierende Parallelbetrieb herkömmlicher Synchrongeneratoren im Netz kann als Leitlinie für die Entwicklung neuer Ansätze zur netzverträglichen Einspeisung gelten. Besteht die Möglichkeit, den Einspeisestromrichtern der regenerativen Erzeuger das vollständige statische und dynamische Verhalten einer elektromechanischen Synchronmaschine aufzuprägen, erscheinen diese wie eine solche im Netz mit der Konsequenz, dass neben den oben genannten Eigenschaften auch jene zur Verfügung stehen, die aus der bekannten Wirkung der rotierenden Massen, der Möglichkeit des Leistungsfernabrufs ohne zusätzliche Kommunikationsverbindung, der dynamischen Kurzschlußleistungserhöhung und der Netzentpendelung hervorgehen.

**Lösungsweg:** Abb. 1 verdeutlicht den der VISMA zugrundeliegenden Ansatz der Kombination der Vorteile elektromechanischer Synchronmaschinen für den Netzparallelbetrieb von Einspeisern mit denen der aktuellen IGBT-Wechselrichtertechnik. Nach Abb. 2 gliedert sich die Grundfunktion der VISMA in die Prozeßschritte zur Erfassung der Netzspannung (1), Berechnung des Maschinenstroms (2) und Einspeisung des errechneten Maschinenstroms durch den VISMA-Wechselrichter (3). Der arithmetische Kern der VISMA ist gemäß Abb. 3 ein Zwei-Achsen-Modell der elektrisch erregten, magnetisch linearen Innenpolmaschine mit Dämpfer.

**Projektstand:** Technologietransfer

---

---

<b>Förderung:</b>	DFG, Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)
<b>Patent:</b>	Hesse, R.; Beck, H.-P.; Turschner, D. Konditionierungseinrichtung für Energieversorgungsnetze Deutsches Patent- und Markenamt Patentanmeldung: 10 2006 047 792.8 Anmeldetag: 06.10.2006
<b>Dissertation:</b>	Hesse, R. Virtuelle Synchronmaschine Papierflieger-Verlag Clausthal, 2007 ISBN 978-3897209190
<b>Bearbeiter:</b>	Dr.-Ing. Ralf Hesse (Tel.: 72-3821) ralf.hesse@tu-clausthal.de
<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Tel.: 72-2570)

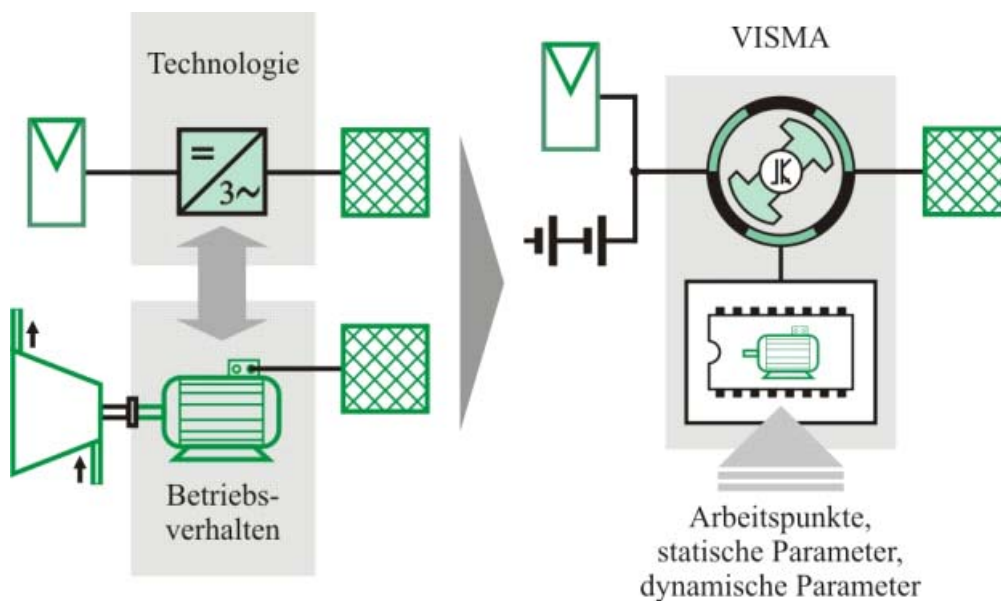


Bild 1: Prinzip der VISMA

**Projekt:** Virtuelle Synchronmaschine (VISMA)

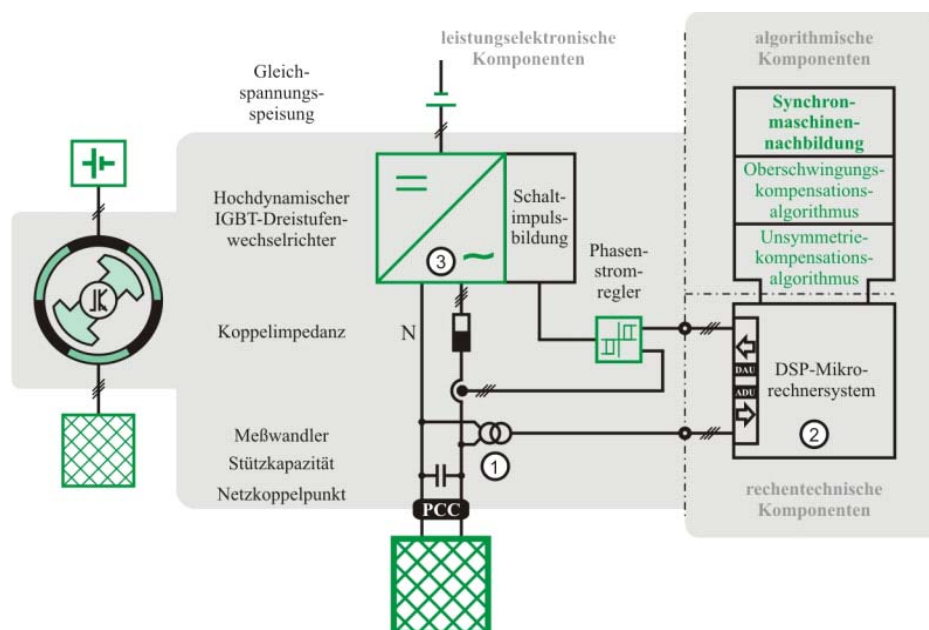


Bild 2: Bestandteile eines VISMA-Systems

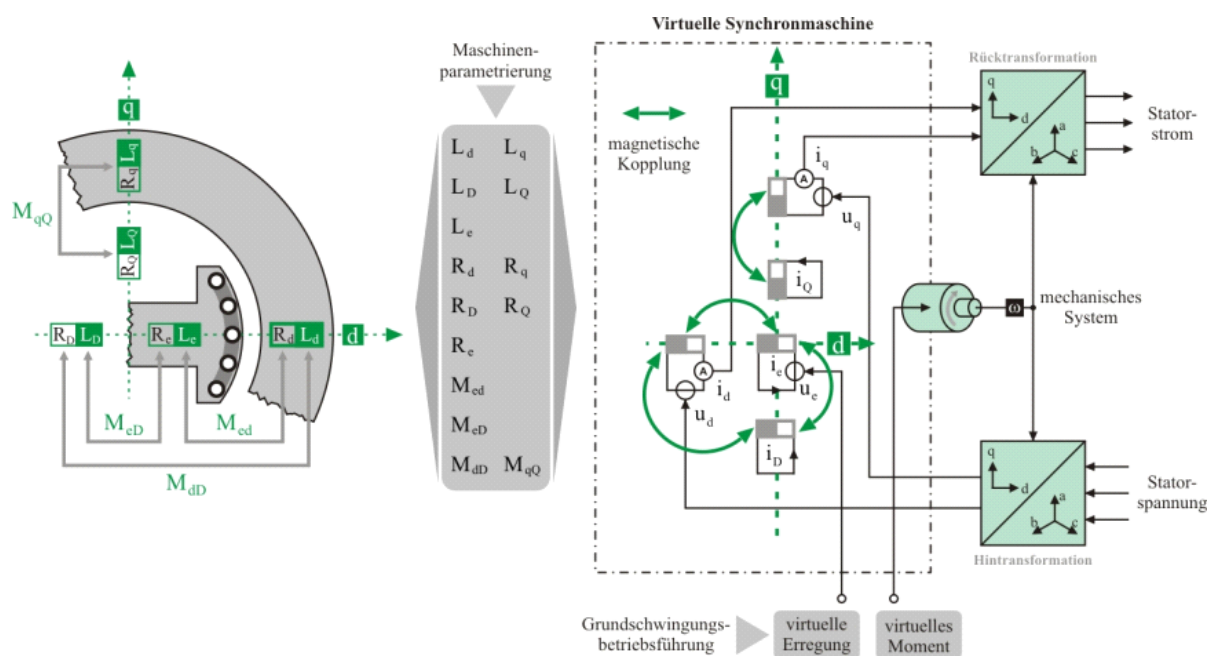


Bild 3: Maschinenmodell der VISMA



**Projekt:** VISMA für den Energiepark Clausthal

---

**Problem:** Arealnetze mit hohem Anteil verbrennungsmotorisch betriebender Generatoren weisen prinzipbedingt Störfdispositionen im Unterschwingungsbereich auf, deren Auswirkungen unter bestimmten Betriebsbedingungen zur Beeinträchtigung der Spannungsqualität im Netz bis hin zum Auslösen von Schutzeinrichtungen führen können.

**Ziel:** Der Modulator des Systemwechselrichters einer VISMA ist als Phasenstromregler ausgeführt, um in diesem Anwendungsfall die errechneten Maschinenströme mit größtmöglicher Geschwindigkeit ins Netz zu prägen.

Neben den im Wesentlichen netzfrequenten Strömen der VISMA vermag der phasenstromgeregelter Systemwechselrichter zusätzliche, dem VISMA-Strom überlagerbare Stromanteile anderer Frequenz ins Netz zu prägen, ohne die VISMA-Funktion zu beeinträchtigen.

Diese Systemeigenschaft kann herangezogen werden, um eine zusätzliche Ober-, Unterschwingungs- aber auch Unsymmetriekompensation auszuführen.

**Lösungsweg:** Das in Bild 1 gezeigte Strukturbild zur Kompensation von Oberschwingungen bei Ausnutzung des vorhandenen VISMA-Wechselrichters greift auf einen Phasenregelkreis (PLL) zurück, um das für die Kompensation der Netzspannungsoberschwingungen nach dem Verfahren der Superposition erforderliche, zur Netzspannungsverzerrung phasengleichen Kompensationsstromsignal abzuleiten. Er ist Bestandteil der Netznachbildung, die ein unbeeinträchtigtes, dreiphasiges Netzspannungssignal erzeugt, um den reinen Verzerrungsspannungsanteil in jeder Phase zu bestimmen. Als Regelgröße dient der frequenz-globale Effektivwert der Verzerrungsspannung.

Bild 2 verdeutlicht das Prinzip der Gewinnung des Verzerrungsanteils einer allgemeinen Netzgröße durch Nutzung einer PLL. Im stationären Fall kann das in seiner Amplitude dem Netzspannungseffektivwert nachgeführte, netzphasensynchrone VCO-Signal vom Netzsignal abgezogen werden, um den reinen Verzerrungsanteil zu isolieren. Die Wirkung der Oberschwingungskompensation verdeutlicht Bild 3.

Das PLL-geführte Kompensationssystem wird für den Einsatz im Energiepark Clausthal speziell zur Kompensation von Unterschwingungen modifiziert.

<b>Projektstand:</b>	Aufbau VISMA, Modifikation PLL-Kompensator	
<b>Förderung:</b>	Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)	
<b>Bearbeiter:</b>	Dr.-Ing. Ralf Hesse ralf.hesse@tu-clausthal.de	(Tel: 72-3821)
<b>Projektleiter:</b>	Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck	(Tel.: 72-2570)

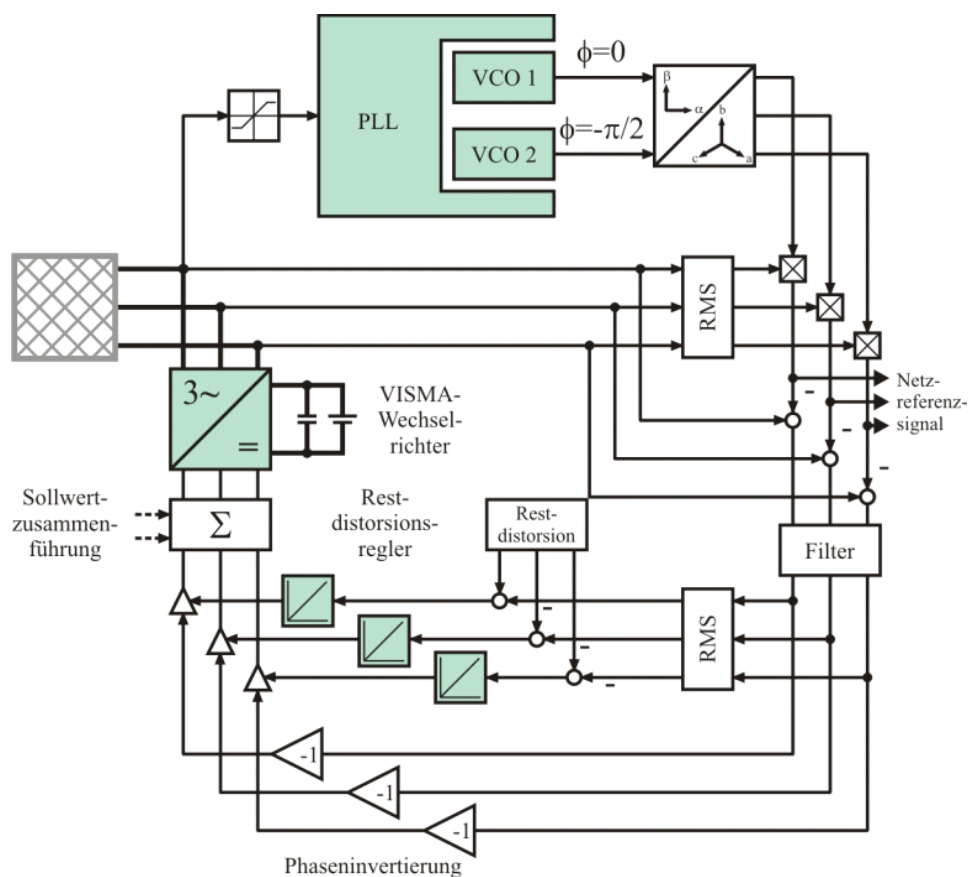


Bild 1:Strukturbild der Oberschwingungskompensationseinheit eines VISMA-Systems



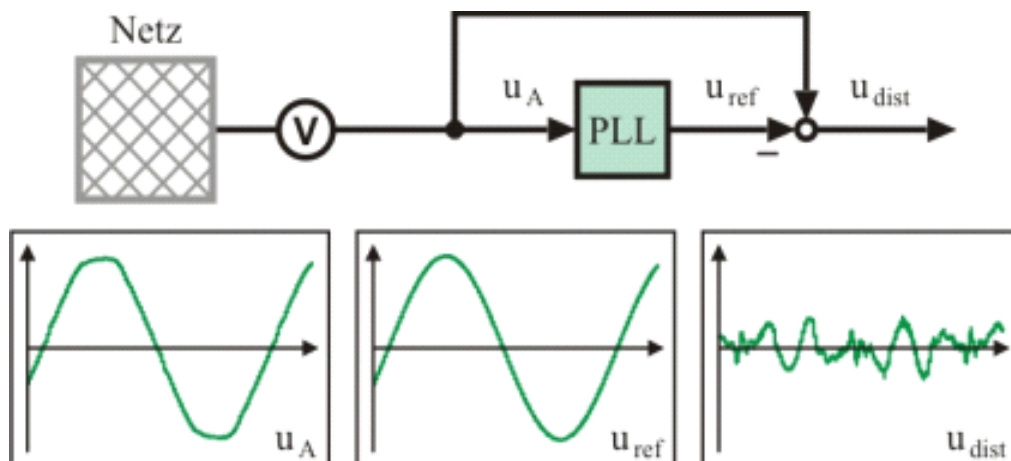


Bild 2: Bestandteile eines VISMA-Systems

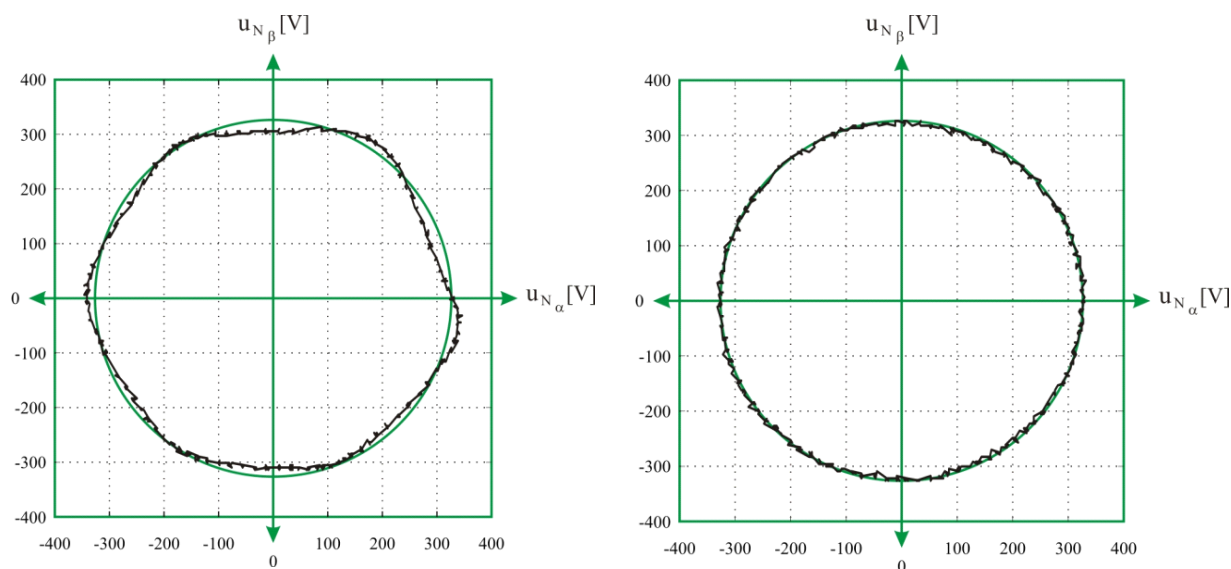


Bild 3: Wirkung der Oberschwingungskompensation Netzspannung in  $\alpha$ - $\beta$ -Darstellung (links: überschwingungsbehaftetes Netz, Kompensator inaktiv, rechts: aktiv)



**Problem:** In unserer hochgradig mit Infrastruktur erschlossenen Region sind wir gewöhnt an die fast immer vorhandene Versorgung mit Elektrizität. Welchen Einfluss diese Energieart bei uns gewonnen hat, zeigt sich bei jüngsten Ereignissen. Eine Unterbrechung dieser als selbstverständlich empfundenen und gewordenen Versorgung führt nicht nur zu erhitzten Diskussionen, sondern zeigt uns auch die Bedeutung einer Versorgung mit Elektrizität auf. Doch genau diese Versorgung, die auf einem entsprechend ausgebauten Verteilnetz basiert, ist keinesfalls selbstverständlich wenn wir über unsere Landesgrenzen hinausschauen. In vielen Regionen dieser Welt existiert bis heute kein geschlossenes Versorgungsnetz oder es existieren Inselnetze.

Ein solches Inselnetz stellt im einfachsten Fall einen Haushalt dar, der zur Eigenversorgung einen dieselbetriebenen Generator nutzt. Ebenso existiert eine Vielzahl von Inselnetzen basierend auf einem lokalen Niederspannungsnetz oder einer regionalen Verteilstruktur. Eines haben viele dieser Inselnetzstrukturen gemein: Die Energiegestehungskosten sind in der Regel bestimmt vom Brennstoffeinsatz für den Betrieb der Dieselaggregate. Im Falle entlegener Regionen folgt zudem noch die logistische Herausforderung des Kraftstofftransports.

Die wesentliche Maßnahme zur Reduzierung der Kosten ist daher die Verminderung des Einsatzes von Brennstoff. Statt dessen müssen alternative Energiequellen genutzt werden. Das vom europäischen Fond für regionale Entwicklung geförderte Projekt „Optimierte Wind-Diesel-Hybridsysteme in Inselnetzen“ stellt sich dabei der besonderen Herausforderung der Integration von Windenergie in ein Inselnetz mittlerer Größe bis zu 100 kW Spitzenleistung. Partner in diesem Projekt ist die Inensus GmbH, die sich für innovative Lösungen für dezentrale Energiesysteme engagiert.

Die besondere Situation in solchen Hybridsystemen stellt die gleichzeitige stark stochastische Erzeugung elektrischer Energie durch die Windenergieanlage, in Kombination mit dem stochastischen Verbrauch dar. Aufgrund dieses Verhaltens von Verbrauchern, wie auch

---

regenerativen Erzeugern ist ein Speichersystem unverzichtbar.

Aus Kostengründen kommen für einen solchen Speicher derzeit nur Bleibatterien in Frage. Dies gilt sowohl bei bereits realisierten Systemen als auch im Rahmen dieses Projektes. Trotzdem stellt die Bleibatterie nach wie vor eine teure Komponente dar, die zudem, bei für Inselnetze typischen Belastungen, eine deutlich vorzeitige Alterung zeigt.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist darüber hinaus die Modularität eines Inselnetzversorgungssystems. Bei der Erstinstallation muss das System an die individuellen Anforderungen, sowohl bezüglich des Verbrauchs, als auch der örtlichen Gegebenheiten zur Nutzung regenerativer Erzeuger anpassbar sein. Eine Erweiterbarkeit eines solchen Systems ist unbedingt erforderlich.

**Ziel:**

Aufgabe dieses Projektes ist, die konträren Ziele einer günstigen und modularen Systemarchitektur abzuwägen und die technische Umsetzbarkeit auch unter dem Aspekt der Batterielebensdaueroptimierung aufzuzeigen.

Des Weiteren soll ein Prototyp entwickelt und im Institut für Elektrische Energietechnik aufgebaut, in Betrieb genommen und sein Verhalten untersucht und dokumentiert werden.

**Stand der Technik:**

Im Einsatz befindliche Lösungen basieren meist auf Dieselgeneratoren. Eingesetzte Speichersysteme sind bei vielen in Betrieb befindlichen Systemen belastet durch die Fluktuation des Verbrauchs im Inselnetz. Für den Parallelbetrieb im Inselnetz gibt es bereits einzelne Komponenten auf dem Markt. Komponenten, die mehrere Erzeuger zentral einbinden, verfügen derzeit nicht über die Möglichkeit des Parallelbetriebes im Inselnetz und stellen aufgrund ihrer Leistungsklasse Einzellösungen für wenige Haushalte dar. Ein modulares Konzept zur flexiblen Erstellung eines Basissystems der Leistungsklasse von 15-100 kW, mit dem gleichzeitigen Vorzug einer Erweiterbarkeit durch dezentrale Erzeuger im Inselnetz, ist daher die Schlussfolgerung aus der derzeitigen Marktsituation. Der zusätzliche Anspruch der Einbindung der Windenergie in ein batteriegestütztes

**Projekt:** Optimierte Wind-Diesel-Hybridsysteme in Inselnetzen

Inselnetz, bei gleichzeitiger Schonung der Batterie, stellt dieses Projekt gegenüber den markterhältlichen Lösungen meist niedrigerer Leistung zusätzlich heraus.

**Lösungsweg:** Zum Erreichen dieser Zielsetzung wurden Untersuchungen zur Dimensionierung von Inselnetzsystemen vorgenommen. Dabei kam die Software HOMER des National Renewable Energy Laboratory zum Einsatz. Der Focus der Untersuchungen lag auf der Einbindung von Windenergie. In der Untersuchung zeigte sich deutlich die Vorteilhaftigkeit der Integration einer Windenergieanlage mit einer ungefähr der Spitzenlast des Netzes entsprechenden installierten Leistung. Bild 1 zeigt die Energiegestehungskosten eines Inselnetzsystems. Die angenommene Systemgröße beträgt 15 kW. Das System beinhaltet einen Batteriespeicher mit einer Kapazität  $C_{10}$  von 160 kWh sowie einen dieselbetriebenen Generator. Als Variablen gehen die Größe der Windenergieanlage sowie der Tagesenergieverbrauch ein.

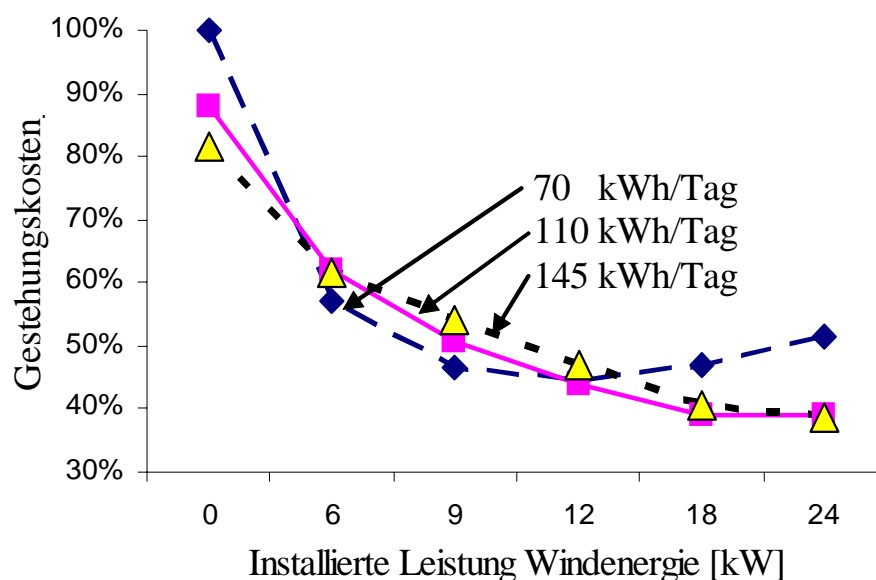


Bild 1: Stromgestehungskosten über installierter Windenergieanlagenleistung und Scharparameter Tagesbedarf. Die Kosten sind normiert auf eine Anlagenkonfiguration ohne Windenergieanlage aber mit o. g. Batteriespeicher

Im weiteren Verlauf des Projektes wurde ein Konzept für ein modulares Inselnetzsystem erstellt. Dabei handelt es sich um ein System, das für weitere Untersuchung sowohl auf der Gleichspannungsseite als auch auf der Wechselspannungsseite erweiterbar ist. Dabei ist der zentrale Nutzen der Modularität auf der Gleichspannungsseite vor allem bei einer Erstinstallation eines Inselnetzsystems von Bedeutung. Die Kopplung von verschiedenen Quellen auf der Gleichspannungsseite führt zu einer Reduzierung der insgesamt erforderlichen Kopplungskomponenten, und somit der Investitionskosten, als auch zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades.

Für den weiteren Ausbau des Netzes ist die Erweiterbarkeit auf der Netzseite von besonderer Bedeutung. Für eine solche Kopplung sind sowohl Generatoren als auch bereits Wechselrichter verfügbar. Die Voraussetzung für eine Integration weiterer Erzeuger auf der Netzseite ist indes die Implementierung einer Wirk- und Blindleistungsstatik nach Vorbild des öffentlichen Energieversorgungsnetzes. Bild 2 zeigt das Strukturbild eines modularen Inselnetzsystems.

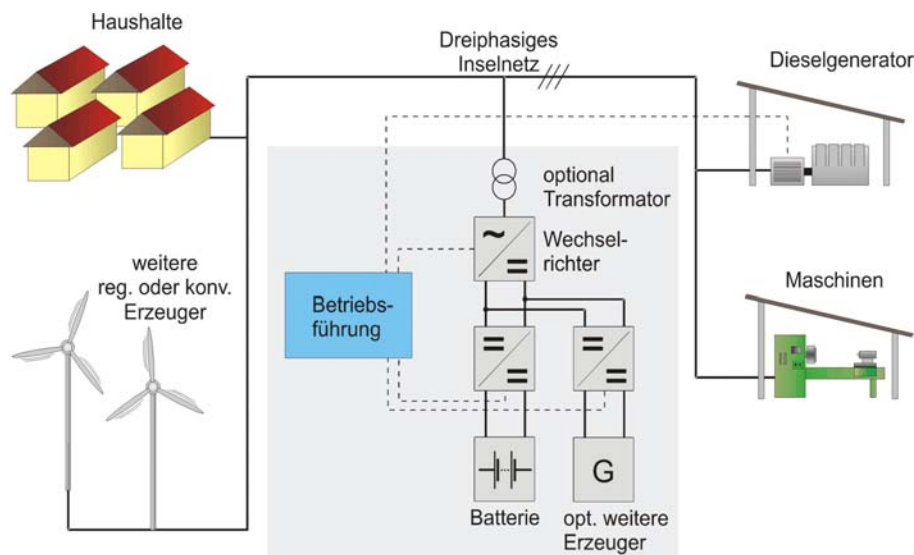


Bild 2: Modulares dreiphasiges Inselnetzkonzept

**Projekt:** Optimierte Wind-Diesel-Hybridsysteme in Inselnetzen

---

Die Integration von Erzeugern und Batterie auf der Gleichspannungsseite bietet, über die oben genannten Vorteile hinaus, die Möglichkeit einer aktiven Kontrolle der Windenergieanlagenleistung um schädliche Schwankungen in der Wirkleistungsbilanz zu unterdrücken. Die aktive Entkopplung der Batterie vom Zwischenkreis ermöglicht einen sehr batterieschonenden Betrieb, um die Lebensdauer der kostenintensiven Komponente maximieren zu können. Zum anderen vermindert sie die Halbleiterverluste, da die Zwischenkreisspannung auf ein erforderliches Minimum reduziert werden kann.

**Projektstand:** Die Identifizierung des aufzubauenden Inselnetzversorgungssystems wurde mit dem Simulationstool HOMER vorgenommen. Darüber hinaus wurden Voruntersuchungen unter Einsatz eines Antriebsumrichters vorgenommen. Zur Verifikation des Konzeptes wurde ein Modell des Systems in MATLAB Simulink erstellt und die erforderlichen Reglerstrukturen entwickelt und getestet. Derzeit erfolgt der Aufbau und die Inbetriebnahme bis zum Abschluss des Projektes Mitte 2008.

**Projektpartner:** Inensus GmbH, Goslar

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Thomas Hesse (Tel.: 72-2939)  
thomas.hesse@tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Tel.: 72-2570)





## Projektübersicht

---

Projektleiter: Dr. rer. nat. Heinz Wenzl  
Tel.: +49-5522/9191-70 / 05323/72-2272  
E-Mail: heinz.wenzl@t-online.de / heinz.wenzl@tu-clausthal.de

### Arbeitsgruppe Energiespeicher

#### Forschungsschwerpunkte und Projekte

Energiespeicher sind in vielen technischen Anwendungen unverzichtbar, weil sie zu jedem Zeitpunkt das Gleichgewicht von Energieerzeugung und Energiebedarf gewährleisten. Dies gilt für netzgekoppelte Systeme zur Stabilisierung von Netzen oder Überbrückung bei Netzfehlern, aber auch für autonome erneuerbare Energiesysteme, Bordnetze und elektrische Antriebe von Fahrzeugen. Eine genaue Analyse zeigt, dass Energiespeicher dabei oft sehr hohen dynamischen Belastungen unterworfen werden, selbst wenn der mittlere Energiedurchsatz gering ist. Dies ist auch bei Batterien der Fall, obwohl sie mehr als Energiespeicher und nicht so sehr als Leistungsspeicher verstanden und ausgelegt werden. Der Forschungsschwerpunkt des Instituts kann am besten mit "Untersuchung des Verhaltens und Charakterisierung von Energiespeichern und elektrochemischen Systemen wie Brennstoffzellen in ihrer Systemumgebung" beschrieben werden. Das besondere Interesse liegt dabei bei hoch dynamischen Vorgängen im Zeitbereich bis zu einer Mikrosekunde, der Schaltgeschwindigkeit von Leistungshalbleiterelementen. Die betrachteten Energiespeicher sind Kondensatoren, Doppelschichtkondensatoren, verschiedene Batterietypen und Schwungräder.

Laufende Forschungsprojekte und Themen sind:

- **Nachbildung und Modellierung des Systemverhaltens verschiedener Batterietechnologien im Mikrosekundenbereich bei Anregung im nicht-linearen Bereich**
  - Ziel der Arbeiten ist ein Ersatzschaltbild der Batterie, mit dem diese hochdynamischen Vorgänge modelliert werden können. In einer am Institut im Februar 2006 abgeschlossenen Dissertation konnte gezeigt werden, dass bei schnellen Stromveränderungen und hohen Amplituden (ca. 100 A/μs) konventionelle Ersatzschaltbilder nicht zur Modellierung des Verhaltens genutzt werden können. Die in der Dissertation aufgezeigten Lösungsansätze werden hier weiter detailliert und ergänzt.

- **Entwicklung eines portablen Geräts zum Testen und Behandeln von Batterien für Kfz-Werkstätten (EFRE)**
  - ▶ Eine der wichtigsten Funktionen von Fahrzeugbatterien ist der Start des Verbrennungsmotors. Batterien mit niedrigem Ladezustand können insbesondere bei tiefen Temperaturen und verminderter Startfähigkeit des Verbrennungsmotors die zum Start erforderliche Leistung nicht mehr zur Verfügung stellen.
  - ▶ Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass ein großer Teil der Batterien, die in Werkstätten bei Wartungsarbeiten ausgetauscht werden, nicht defekt sind, sondern lediglich in einem durch den Betrieb oder mangelhafte Komponenten des Bordnetzes in einem schlechten Zustand sind.
  - ▶ Das hier gesteckte Ziel ist, Verfahren zu entwickeln, mit denen innerhalb der Dauer eines Werkstattaufenthalts nicht nur der Zustand der Batterie genauer als bisher bestimmt, sondern dieser gleichzeitig auch verbessert werden kann (schnellstmögliche Erhöhung des Ladezustands, Verminderung der Säureschichtung).
  - ▶ Die Integration dieser Verfahren in ein möglichst leichtes Gerät, mit dem sowohl die Starthilfe wie auch eine Diagnose der Startprobleme möglich werden, ist eine weitere Zielsetzung des Projekts.

Innerhalb dieses Jahresberichts abgeschlossene Projekte sind:

- **Simulation des Gleichstrombordnetzes eines Schienenfahrzeugs**
  - ▶ Die Batterie als zentrale Komponente der Energieversorgung muss zu jedem Zeitpunkt in der Lage sein, die zum Starten eines Dieselmotors und zum Auslösen von Sicherungen erforderliche Leistung zur Verfügung zu stellen. Außerdem muss sie Energie für die Beleuchtung, Heizung und andere Zwecke bereitstellen können, wenn keine andere Energiequelle vorhanden ist. Für diese Aufgabe wurde im Auftrag der Deutsche Bahn AG ein Bordnetzsimulationsprogramm entwickelt. Eine Erweiterung für erneuerbare Energiesysteme und andere Energieerzeugungseinheiten ist geplant.
- **Untersuchung von Auswirkungen hochdynamisch gepulster Ströme auf Batterien**
  - ▶ Hochdynamische Strombelastungen sowie gepulste Lade- und Entladeströme führen zu Veränderungen des Batterieverhaltens und insbesondere zur Erwärmung der Batterie. Im Auftrag von DaimlerChrysler wurde ein Verfahren entwickelt, wie eine NiMH-Batterie mit einer Anfangstemperatur von  $-25^{\circ}\text{C}$  alleine aus der in ihr gespeicherten

## Projektübersicht

---

Energie soweit erwärmt werden kann, dass ihr Leistungsverhalten der einer Batterie bei Raumtemperatur entspricht (Baron von Münchhausen Effekt).

- **Praktikum Energiespeicher**

- ▶ Das Praktikum wurde im Rahmen einer studentischen Projektarbeit neu im Sommersemester 2007 entwickelt und soll Studenten anhand von eigenen Messungen zeigen, wie die Auswahl eines Energiespeichers (Batterie, Doppelschichtkondensatoren, Schwungrad) für eine bestimmte Anwendung erfolgen muss.



<b>Projekt:</b>	Messung, Nachbildung und Modellierung des Systemverhaltens von Energiespeichern auf dynamische Anforderungen
<b>Problem:</b>	<p>Entgegen der allgemeinen Annahme stellt sich bei der näheren Betrachtung der tatsächlichen Strombelastungen von Batterien und anderen elektrochemischen Systemen zur Gleichspannungsversorgung und den sich aus den Belastungen ergebenden Spannungsverläufen heraus, dass Batterien oder Brennstoffzellen in vielen Systemen als eine Wechselstrom- bzw. Mischstromkomponente und nicht als Gleichstromkomponente angesehen werden müssen. In vielen Anwendungen übersteigt die Amplitude des Wechselstromanteils die Größe des Gleichstromanteils und Änderungen der Stromrichtung führen zu so genannten Mikrozyklen im Bereich einiger Mikrosekunden bis Millisekunden.</p> <p>Die Spannung oder der Strom eines elektrochemischen Systems, welches mit Leistungshalbleitern verbunden ist, kann in weniger als einer Mikrosekunde verändert werden. Lasten mit einer großen Induktivität können den Strom der Batterie sehr schnell ändern. Die Auswirkungen auf das Spannungsverhalten von elektrochemischen Systemen wie Batterien oder Brennstoffzellen bei transienten Stromänderungen werden im Rahmen dieser Arbeit untersucht. Es wird gezeigt, dass der physikalische Skineffekt angewendet auf elektrochemische Systeme eine Erklärung für die beobachteten Spannungsverläufe bieten kann, jedoch gleichzeitig neue Fragen aufwirft.</p>
<b>Ziel:</b>	<p>Erfassung der dynamischen Anforderungen in einem Hybridfahrzeug und anderen technischen Systemen.</p> <p>Modellentwicklung zur Nachbildung des Spannungsverhaltens der verschiedenen Speichertechnologien im Zeitbereich einiger Mikro- bis Millisekunden.</p>
<b>Stand der Technik:</b>	Mathematische Modelle zur Beschreibung der dynamischen Eigenschaften elektrochemischer Energiespeicher gewinnen auf Grund des gestiegenen Einsatzes von leistungselektronischen Bauteilen zur Energiekonditionierung immer mehr an Bedeutung. Bekannte Modelle beschränken sich hierbei auf eine zeitliche Auflösung von Sekunden oder Millisekunden. Eine kürzlich am Institut abgeschlossene Arbeit hat gezeigt, dass der geschilderte Spannungsverlauf durch transiente Stromverdrängung (Skineffekt) qualitativ und auch

quantitativ gut beschrieben werden kann. Die in der Dissertation durchgeführten Simulationen nach der Methode der Finiten Elemente lassen sich jedoch nicht allgemeingültig auf andere Systeme übertragen. Es wurden noch keine Überlegungen unternommen, wie sich die durch den physikalischen Skineffekt verursachte stark inhomogene Stromverteilung auf die thermodynamischen und elektrochemischen Eigenschaften der Energiespeicher auswirkt.

**Lösungsweg:**

Zur Erfassung der dynamischen Anforderungen an die NiMH-Batterie eines Hybridfahrzeugs wurden in einem Toyota Prius Strom und Spannung der Batterie analog über Strom- und Spannungswandler gemessen. Zusätzlich werden vom fahrzeuginternen Bussystem (CANBUS) die Werte für Batteriestrom, -spannung und -temperatur, sowie die Fahrzeuggeschwindigkeit abgefragt. Weitere Daten sind optional abrufbar (Bild 2).

Es wird ein Modell für die NiMH-Hochleistungsbatterie unter Berücksichtigung der elektrischen und thermischen Eigenschaften der Batterie erstellt. Für impulsförmige Stromänderungen wird ein Modell zur Berechnung der transienten Stromverteilung erstellt. Die Auswirkungen der stark inhomogenen Stromverteilung auf Grund des Skineffekts auf die elektrochemischen Vorgänge bilden einen eigenen Arbeitspunkt im Rahmen der Forschung bei hohen dynamischen Anforderungen.

**Projektstand:**

Das bisher erstellte Modell ist in der Lage, den Spannungsverlauf für einen massiven Rundleiter und sprungartige Ein- und Ausschaltvorgänge zu berechnen (Bild 3). Die Erweiterung für Ströme beliebigen Stromverlaufs und die Betrachtung der instationären elektrochemischen Vorgänge sind die nächsten Schritte.

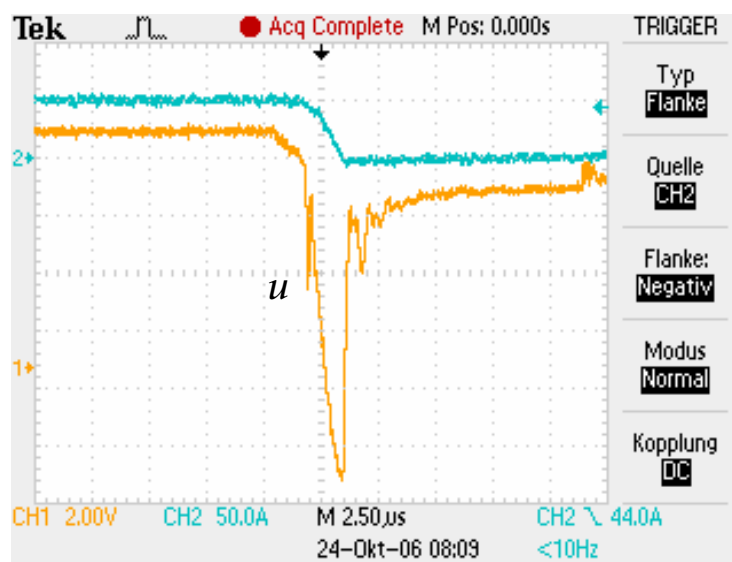
Die Ergebnisse werden in das DVG-Vorhaben Be 1496/14-1 "Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme" implementiert, welches am 01.01.2008 startet.

**Projekt:** Messung, Nachbildung und Modellierung des Systemverhaltens von Energiespeichern auf dynamische Anforderungen

---

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Ralf Bengler (Tel: 72-2176)  
bengler@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr. rer. nat. Heinz Wenzl (Tel.: 05522/919170)



2,5 µs/RE; 50 A/RE; 2 V/RE

Bild 1: Strom- und Spannungsverlauf einer 7,2 V NiMH-Batterie bei einer Stromänderung von 50 A auf 0 A. Die Temperatur beträgt konstant 20° C.

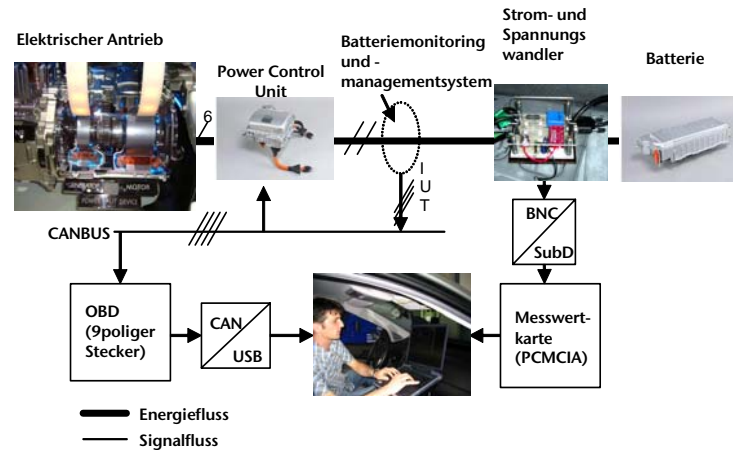


Bild 2: Erfassung von Batteriestrom und -spannung in einem Hybridfahrzeug mit analogem Strom- und Spannungswandler sowie Datenerfassung über den fahrzeuginternen Datenbus

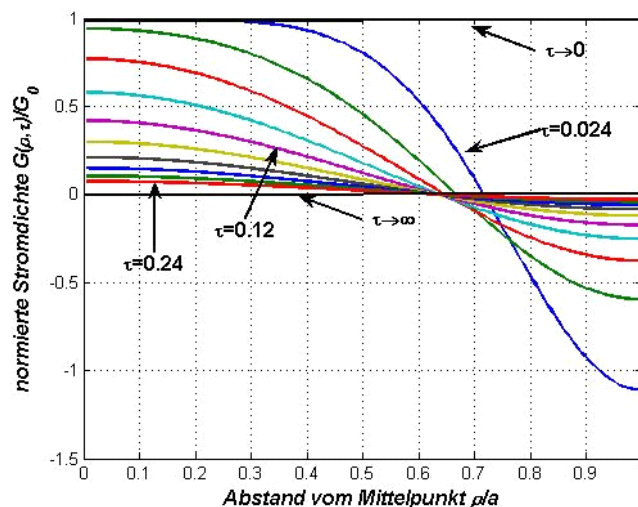


Bild 3: Verlauf der relativen Stromdichteverteilung für einen sprungartigen Ausschaltimpuls bei einer zylindrischen NiMH-Batterie über den auf den Radius bezogenen Abstand vom Mittelpunkt bei einem zylindrischen Leiter [nach L. Hannakam: Berechnung der transienten Stromverteilung im zylindrischen Massivleiter, ETZ-A91, 1970].  $\tau = 0,024$  entspricht hier einer Zeit von  $10 \mu s$ , Parameter für die Berechnung entnommen aus [E. Hoene: Rf-Properties of Automotive Traction Batteries, IEEE EMC Symposium, Istanbul, Turkey 2003]



**Projekt:** Entwicklung eines Batterietestgeräts

---

**Problem:** Batterien in Fahrzeugen sind für den Startvorgang eines Kraftfahrzeuges und den Betrieb unerlässlich. Trotz des inzwischen erreichten hohen Standes stellen Batterien immer noch eine Schwachstelle bzgl. der Zuverlässigkeit eines Kraftfahrzeuges dar:

- Seit vielen Jahren führen Funktionsausfälle von Batterien die Pannenstatistik an. Obwohl in vielen Fällen die Batterie nicht der auslösende Faktor für die Panne ist, wird sie geschädigt und muss deshalb oft getauscht werden.
- Wegen mangelnder Testverfahren werden Batterien oft ersetzt, anstatt sie zu laden und durch eine gezielte Behandlung wieder instand zusetzen.
- In vielen Fahrzeugen werden Batterien selten vollgeladen, weil die Betriebszeit des Fahrzeugs im Verhältnis zur Entladung während des Startvorgangs und ungünstiger Betriebsphasen zu kurz ist. Die große Zahl der elektrischen Verbraucher bei modernen Fahrzeugen verringert zudem den für die Ladung der Batterie zur Verfügung stehenden Strom.
- Batterien werden immer häufiger in einem teilentladenen Zustand zyklisiert, eine Betriebsweise, deren Auftreten erst seit einiger Zeit als problematisch erkannt wurde und zu eigenen Prüfvorschriften der Automobilindustrie ("17,5 % Test" von VW) geführt hat.

**Ziel:** Ziel der Arbeiten ist die Entwicklung eines tragbaren, universellen Geräts, das in Kfz-Werkstätten zur Analyse und zur Behandlung von Bleistarterbatterien eingesetzt werden und Startvorgänge von Verbrennungsmotoren unterstützen kann.

Mit diesem Gerät kann eine Werkstatt eine qualitative Verbesserung der Wartungsarbeiten an Fahrzeugen erreichen, weil der Batteriezustand nicht nur beurteilt wird, sondern durch geeignete Ladeverfahren auch verbessert werden kann. Darüber hinaus ist im Pannenfall nicht nur eine unmittelbare Starthilfe, sondern auch eine Beurteilung des Batteriezustands möglich.

**Stand der Technik:** Testgeräte für Bleistarterbatterien, mit denen der aktuelle Zustand der Batterie analysiert werden kann, sind kommerziell erhältlich. Für die Zuverlässigkeit der Aussage gibt es wenig bis gar keine Auswertungen. Nur ein Teil der Geräte kann für Batterien genutzt wer-

---

den. Eine Trennung der Batterie vom Bordnetz ist aber nicht nur unerwünscht, sondern auch mit manchmal hohem Aufwand für die Demontage von Einbauteilen des Fahrzeugs verbunden.

Üblicherweise arbeiten diese Geräte auf der Basis von Wechselstrombelastungen mit geringen Strömen und Frequenzen im Bereich von ca. 100 Hz bis einigen Kilohertz. Aus den gemessenen Impedanzwerten können Rückschlüsse auf den Innenwiderstand und Ladezustand der Batterie gezogen werden.

**Lösungsweg:**

- Entwicklung von Batteriemodellen für eine naturwissenschaftliche Beschreibung der verwendeten Prüf- und Ladeverfahren
- Bestimmen des Istzustands der Batterie mit konventionellen sowie ergänzenden Methoden
- Verfahren zur schnellen Verbesserung des Batteriezustandes
- Verifizierung und Prototypenentwicklung

**Projektstand:**

Das Projekt wurde am 01.09.06 gestartet. Es wurden verschiedene Konzepte zur Batterie(lade)zustandsdiagnose evaluiert und die mögliche Implementierung in ein Diagnosegerät überprüft. Derzeit wird ein Batteriemodell entwickelt, das insbesondere das Klemmenverhalten der Batterie bei hohen Lade- und Entladeströmen richtig wiedergibt.

Für den ersten Teil der Zustandsdiagnose wurden Strom- und Spannungsantwort während des eigentlichen Startvorgangs analysiert und über entsprechende Algorithmen bewertet. Anhand dieser Startfähigkeitsanalyse ist eine erste Bewertung des Batteriezustands möglich. Ergänzt wird diese Methode durch die integrierte Impedanzspektroskopie, die noch zu untersuchen ist. Die schnelle Verbesserung des chemischen Speichers soll durch weiterentwickelte Ladeverfahren ermöglicht werden. Hier werden derzeit vor allem die hochfrequente Pulsladung, sowie das so genannte IR-freie Laden untersucht.

**Projektpartner:**

Ingenieurbüro Dr. Heinz Wenzl, Beratung für Batterien und Energietechnik, Osterode am Harz

**Förderung:**

Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)

**Projekt:** Entwicklung eines Batterietestgeräts

---

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Ralf Bengler (Tel: 72-2176)  
bengler@iee.tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. André Haubrock (Tel.: 72-2593)  
andre.haubrock@tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck (Tel.: 72-2570)



**Projekt:** Bordnetzsimulationsprogramm für die Deutsche Bahn AG

---

**Problem:** Die Auslegung des Bordnetzes von Schienenfahrzeugen und das Verhalten der Batterien im Bordnetz werden von der Bordnetzstruktur, der Zahl und der Größe der elektrischen Verbraucher, der Kapazität und Eigenschaften der Batterie, der Spannungslage, Ladekennlinie und der Leistung der Stromversorgungsgeräte und den ohmschen Verlusten auf den Leitungen beeinflusst. Die Dimensionierung und Auswahl von Batterien und Stromversorgungen erfolgt zurzeit auf der Grundlage der Addition der Leistung aller Verbraucher und Annahme gewisser Gleichzeitigkeitsfaktoren für den Betrieb. Tendenziell werden damit Batterien und Stromversorgungsgeräte überdimensioniert. Dies kann die Zuverlässigkeit erhöhen, führt aber ganz sicher in manchen Fällen zu einer wirtschaftlich fragwürdigen Lösung. Müssen Verbraucher geändert oder weitere Verbraucher zur Erhöhung des Kundenkomforts installiert werden, ist bei einer derartigen Auslegung letztlich unklar, ob die Batteriegröße dann noch ausreicht und welche Auswirkungen sich auf die zu erwartende Lebensdauer und Ersatzzeiträume ergeben.

**Ziel:** Derartige Zusammenhänge experimentell zu untersuchen ist aufwändig. Sie können einfacher durch ein Simulationsprogramm geklärt werden, das alle Aspekte in einem ganzheitlichen Ansatz berücksichtigt. Das Programm soll einfach parametrisierbar sein und die Simulation von Fahrten für unterschiedliche Fahrzeuge, Bordnetzstrukturen und Batterien bei veränderlicher Umgebungstemperatur durchführen können.

**Stand der Technik:** Bestehende Programme, die sich für diese Problematik eignen, würden viele Parameter zur Eingabe erfordern, aber dennoch nicht alle Anforderungen erfüllen. Es existiert kein Programm, welches die Spannung der Batterie für das Laden und Entladen mit konstantem Strom, für das Laden mit konstanter Spannung und für Hochstromentladungen gleichermaßen berechnen kann.

**Lösungsweg:** Es wurde ein modular aufgebautes Bordnetz-Simulationsprogramm entwickelt. Damit wurde erreicht, dass zusätzliche Programmteile oder Daten ohne großen Aufwand in das Gesamtprogramm implementiert werden können. Die Programmteile und Datenbanken bleiben, bis auf durch unterschiedliche Simulationsprogrammteile ge-

---

koppelte Simulationsparameter, von Erweiterungen unbeeinflusst. Durch den modularen Aufbau können also sowohl weitere Zugdaten und Nutzungsdaten, wie zusätzliche Verbraucher, andere Strecken, neue Bordnetzstrukturen, als auch weitere Simulationsprogramme eingefügt werden.

Großer Vorteil des Bordnetzsimulations-Programms BNS ist die einfache Parametrisierung; für die vollständige Beschreibung der Lade- und Entladecharakteristik werden lediglich zwei Entlade- und eine Ladekurve benötigt. Für das Hochstrom-Modell ist nur die Angabe des Innenwiderstands nach DIN notwendig.

**Projektstand:**

Das erstellte Programm BNS ist in der Lage, den Spannungs-, Temperatur- Ladezustands- und Gasungsstromverlauf quantitativ und qualitativ richtig zu beschreiben. Eine Verifizierung der Ergebnisse im Labor bei verschiedenen Umgebungstemperaturen und Lade bzw. Entladeströmen lieferte eine hohe Übereinstimmung (Bild 1).

Auf Basis eines ereignisorientierten Ansatzes wurden ein Lebensdauermodell sowie ein Kostenmodell implementiert.

Erstmals eingesetzt bei der Deutschen Bahn Systemtechnik hat das Bordnetzsimulations-Programm inzwischen auch seinen Praxistest bestanden (Bild 2).

Das Projekt konnte mit Abgabe der Software im März 2006 erfolgreich abgeschlossen werden.

Zur weiteren Validierung der Simulationsprogramme besteht auch weiterhin Kontakt zur DB. Die DB verfügt über eine große Menge von Messdaten mit denen eine weitere Verbesserung des Programms erreicht werden kann. Zusätzlich soll das Programm so erweitert werden, dass es für andere autonome Energiesysteme mit anderen Energieerzeugungseinheiten, z.B. für erneuerbare Energiesysteme verwendet werden kann.

**Projektpartner:**

Deutsche Bahn AG  
DB Systemtechnik, München

**Projekt:** Bordnetzsimulationsprogramm für die Deutsche Bahn AG

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. Aimé Mbuy (Tel: 72-3702)  
mbuy@iee.tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. Ralf Bengel (Tel.: 72-2176)  
bengel@iee.tu-clausthal.de

**Projektleiter:** Dr. rer. nat. Heinz Wenzl (Tel.: 05522/919170)

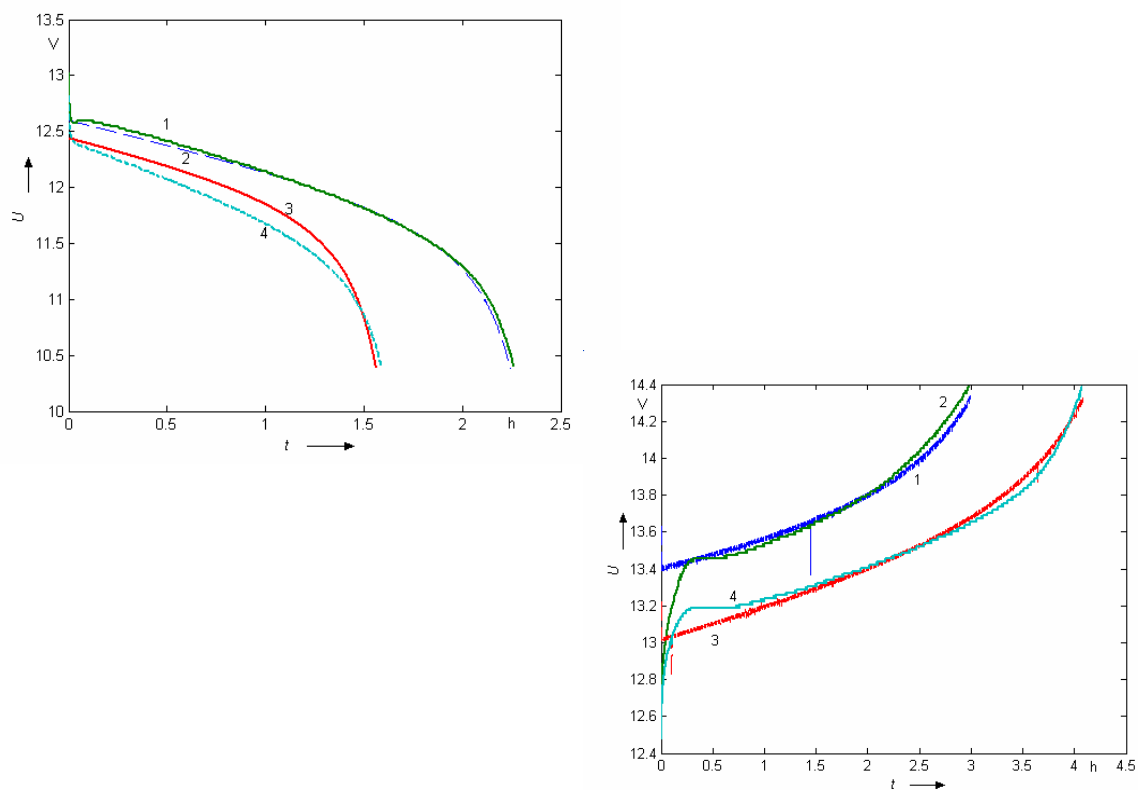


Bild 1: Vergleich der Simulationsergebnisse mit gemessenen Spannungsverläufen bei

- a) einer Entladung mit dem Zweifachen des fünfstündigen Nennstroms einer Batterie bei 0°C und 25°C Umgebungstemperatur
  - b) einer Ladung mit dem fünfstündigen Nennstrom einer Batterie mit den gemessenen Spannungsverläufen bei 0°C und 25°C.
- 1, 3 Simulation, 2, 4 Messung

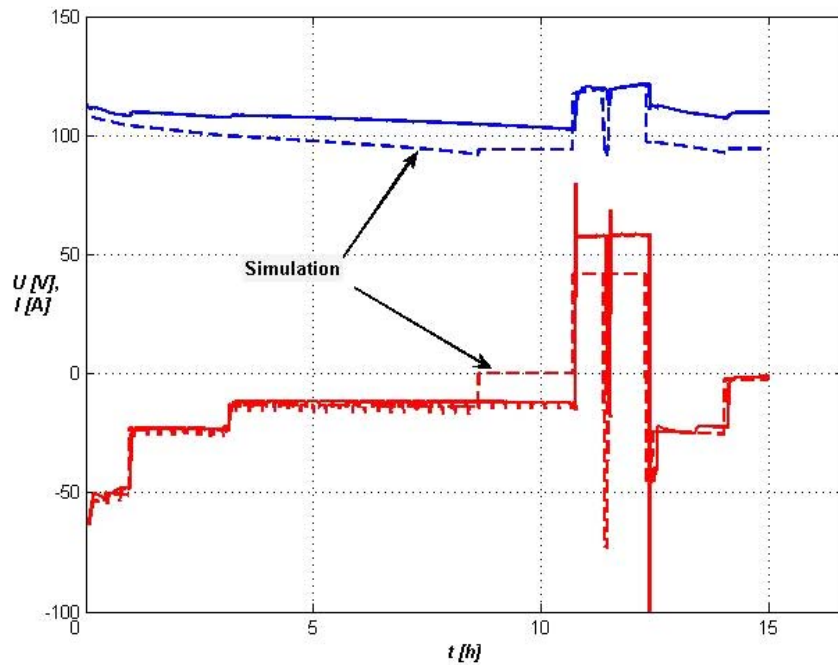


Bild 2: Gemessener und berechneter Strom (rote Kurve) und Spannungsverlauf (blaue Kurve) für das Gleichstromnetz des ICE 3 mit einer 110 V Batterie bestehend aus 55 Zellen mit 165 Ah Nennkapazität.



<b>Projekt:</b>	Verbesserung der Tieftemperatur-Leistungsfähigkeit von NiMH-Batterien in Hybridfahrzeugen	
<hr/>		
<b>Problem:</b>	NiMH-Batterien haben eine äußerst schlechte Tieftemperatur-Leistungsfähigkeit, die den Einsatz in Hybridfahrzeugen bei niedrigen Außentemperaturen stark behindert.	
<b>Ziel:</b>	Erwärmung der NiMH-Batterie mittels gepulster Ströme, die durch den an Bord befindlichen Umrichter generiert werden.	
<b>Stand der Technik:</b>	In der Automobilindustrie werden zunehmend Fahrzeuge mit Hybridantrieb (elektrisch unterstützte Traktion) auf den Markt gebracht. Diese werden derzeit mit NiMH-Batterien als Speicher für elektrische Energie ausgerüstet. NiMH-Batterien haben jedoch eine äußerst schlechte Tieftemperatur-Leistungsfähigkeit, so dass der Start des Verbrennungsmotors nicht mehr möglich ist. Hybridfahrzeuge können daher i. d. R. nicht in Regionen mit dauerhaft niedrigen Außentemperaturen $< -15^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden.	
<b>Lösungsweg:</b>	Durchführung von Versuchsreihen zur Untersuchung der möglichen Erwärmung. Hierzu werden mittels eines durch die NiMH-Batterie gespeisten Blindleistungsumrichters sägezahnförmige Stromimpulse generiert, die zugleich eine interne Erwärmung bewirken. Zur Ermittlung einer möglichst kurzen Heizdauer bei vorgegebener Mindestleistungsfähigkeit sollen als Parameter die Frequenz sowie die Dauer der impulsförmigen Strombelastung variiert werden.	
<b>Projektstand:</b>	Es konnte gezeigt werden, dass ca. 35 % der in der NiMH-Batterie enthaltenen Energie ausreichen, um eine mit Raumtemperatur vergleichbare Leistungsfähigkeit zu erhalten. Die effektivste Erwärmung wird durch eine kontinuierliche Belastung durch Stromimpulse, die bis zum Erreichen einer vorgegebenen Temperatur durchgeführt wird, erreicht. Die Dauer für die Erwärmung beträgt insgesamt ca. 12 Minuten.	
<b>Bearbeiter:</b>	Dr.-Ing. Carsten Ropeter ropeter@energieprojekte.de	(Tel: 05323/94 83 00)
<b>Projektleiter:</b>	Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann	(Tel.: 72-2595)

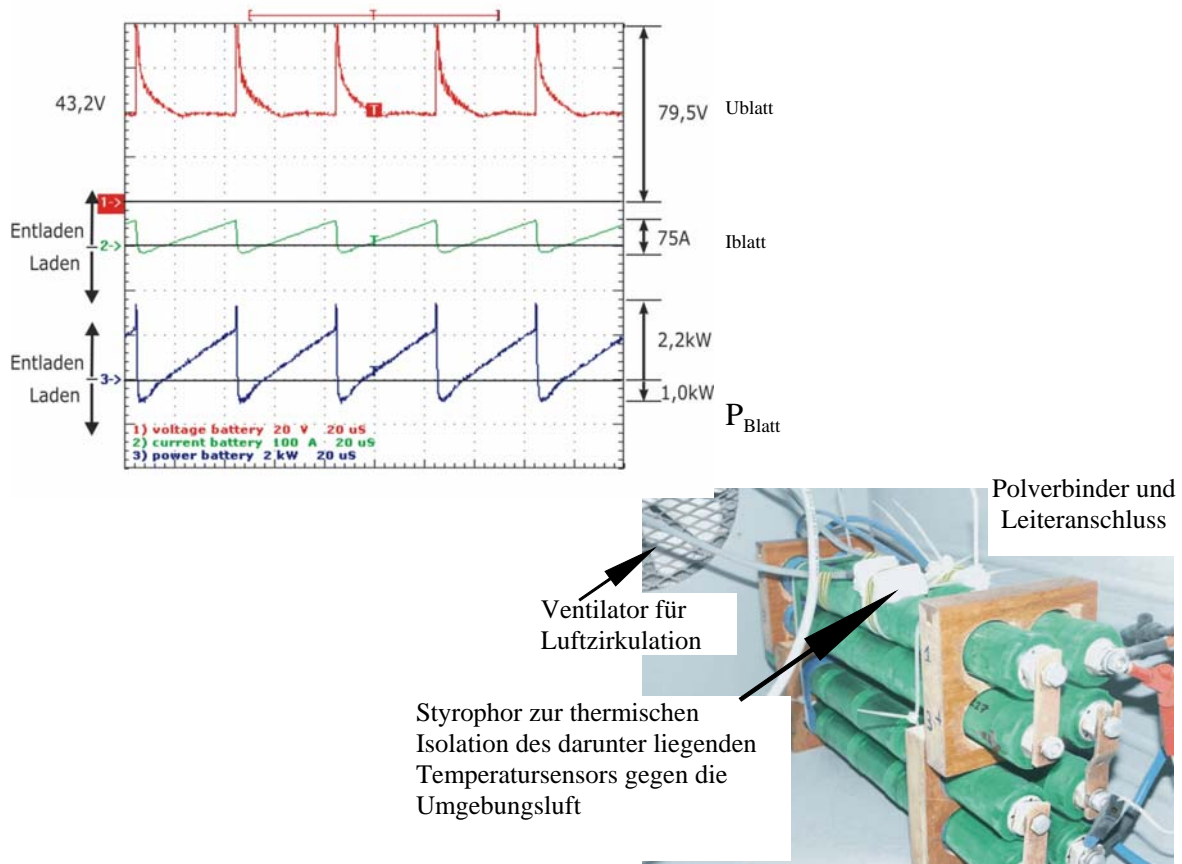
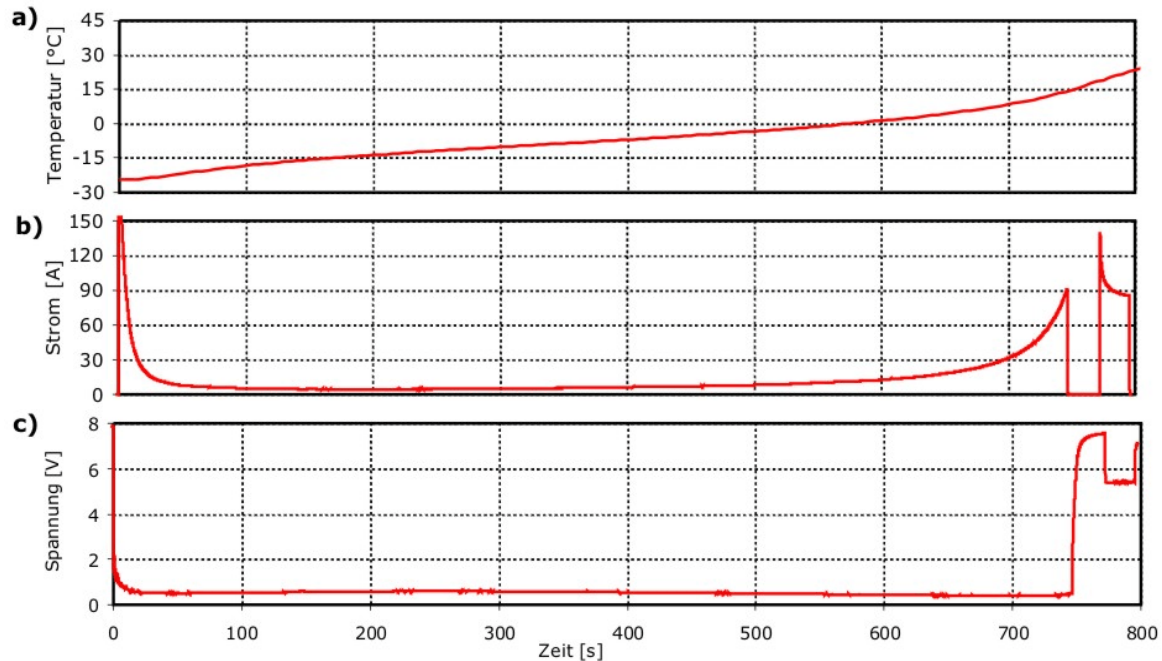


Bild oben: Die Frequenz des Batteriestroms beträgt 25kHz, dies entspricht einer Periodendauer von 40µs zwischen Ladung und Entladung. Der Spitze zu Spitze Wert des Stromes beträgt ca.  $I_{ss}=75A$ . Es tritt eine max. Spannung von ca. 80V auf, dies entspricht ca. dem doppelten Werte der Batterienennspannung. Die max. Leistung während der Entladung beträgt ca. 2,2kW, während der kürzeren Lade phase nur ca. 1,0kW. Es sei darauf hingewiesen, dass erst nach der Messung bemerkt wurde, dass Strom und Leistung im Verbraucherzählpeilsystem dargestellt sind (Leistungsfluss von der Quelle ist positiv), die Spannung jedoch im Erzeugerzählpeilsystem. Es kommt daher im Diagramm bei steigendem Strom zu einer abfallenden Batteriespannung.

Bild unten: Batterien mechanisch stabil aufgebaut und dann zur Einstellung der gewünschten Temperatur in die Klimakammer des Tischklimagerätes gestellt. Die Anschlussleitungen wurden durch die Dichtung der Fronttür gegen die Umgebung abgeschlossen (hier nicht zu sehen).

**Projekt:** Verbesserung der Tieftemperatur-Leistungsfähigkeit von NiMH-Batterien in Hybridfahrzeugen



**Bild 3:** Die Spannung der Batterie bricht schon kurz nach Beginn der Heizphase auf ca. 0,15 V/Zelle ein und fällt dann noch weiter ab bis auf ca. 0,08 V/Zelle. Die Temperatur der NiMH-Batterie (gemessen an der Außenseite) steigt trotz der recht geringen Ströme zu Beginn der Heizphase fast linear und dann zum Ende noch einmal verstärkt an. Bei ca. 15°C wird die Belastung (und damit auch die Erwärmung) durch gepulste Ströme abgebrochen. Nach einer kurzen Pause in der sich die Spannung auf „normale“ Werte (7,2 V Systemspannung) regenerieren kann, wird zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eine Konstantspannungs-Entladung bei 0,9 V/Zelle durchgeführt. Die dabei entnehmbare mittlere Leistung wird mit einem Referenzversuch verglichen. Dadurch ist eine Beurteilung des Erwärmungsversuchs möglich.



<b>Projekt:</b>	Unternehmensgründung im Bereich der ländlichen Elektrifizierung mit Inselnetzen und Kleinwindenergie
<b>Ausgangslage:</b>	<p>Schwellenländer wie Indien, Brasilien und China erhöhen ihre Elektrifizierungsrate. Viele der abgelegenen Dörfer sind jedoch zu weit vom Verbundnetz entfernt, um an dieses angeschlossen zu werden. Hier kommen Inselnetze mit Dieselgeneratoren als Kraftwerk zum Einsatz. An Orten, in denen der Brennstoff Diesel sehr hochpreisig ist, lohnt sich die Einbindung regenerativer Energiequellen in diese Inselnetze. Vielerorts macht es Sinn, die zuverlässige Solarenergie (Photovoltaik) durch kostengünstige Windenergie zu ergänzen. Dies haben auch einige führende Unternehmen aus der Branche der netzgekoppelten Photovoltaikanlagen erkannt und entwickeln kleine Windenergieanlagen in der Größenordnung von 5 kW. Die bereits auf dem Markt befindlichen Anbieter von Kleinwindenergie sehen sich motiviert, auch ihre eigenen technischen Konzepte zu verbessern und suchen nach qualifizierter technischer Unterstützung, um mit den finanzkräftigen Unternehmen aus der Photovoltaikbranche mithalten zu können.</p> <p>Vor diesem Hintergrund gründeten drei Absolventen des IEE die inensus GmbH, die Dienstleistungen für die technische Entwicklung von Kleinwindenergieanlagen anbietet. Der Fokus der Firma liegt auf der Integration von Kleinwindenergieanlagen in elektrische Systeme.</p>
<b>Ziel:</b>	Unternehmensgründung im Bereich der ländlichen Elektrifizierung. Anbieten von Dienstleistungen im Bereich der technischen Entwicklung von Windenergieanlagen in Hybridsystemen. In fernerer Zukunft sollen auch eigene Produkte an den Markt gebracht werden.
<b>Lösungsweg:</b>	Knüpfen von Netzwerken und parallel weiteres Einarbeiten in die Kleinwindenergietechnologie. Durchführen von technischen als auch wirtschaftlichen Simulationen zur Erstellung von Marktrecherchen. Aufstellen des Geschäftsplanes. Akquisition und Realisierung erster Projekte.
<b>Projektstand:</b>	Im so genannten Preseed-Zeitraum, der durch eine einjährige Förderung (Oktober 2004 bis Oktober 2005) durch das BMBF im Programm EXIST-Seed unterstützt wurde, konnte eine Strategie für den Markteintritt der im Juli 2005 gegründeten inensus GmbH entwickelt werden. Diese Strategie besteht aus einem zweigleisigen Konzept,

das auf der einen Seite die Erwirtschaftung von Deckungsbeiträgen durch Dienstleistungen berücksichtigt, auf der anderen Seite genügend Raum für die Entwicklung eigener Produkte in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Industrie lässt. Parallel zu der Entwicklung eigener Produkte werden Vertriebsstrukturen aufgebaut.

Nach Ablauf der EXIST-Seed Förderung ist die inensus GmbH direkt in das operative Geschäft eingestiegen und kann sich seitdem ohne die Verwendung von Fremd- oder Beteiligungskapital vollständig über Deckungsbeiträge aus Entwicklungsdienstleistungen finanzieren. Die inensus GmbH beschäftigt zwei Vollzeit- und zwei Teilzeitmitarbeiter/innen. Trotz der finanziellen Selbständigkeit erfährt die junge Firma auch ein Jahr nach der Gründung noch weiterhin umfangreiche ideelle Unterstützung aus dem IEE. Die inensus GmbH hat ihren Büroraum am IEE angemietet, hält so auch räumlich engen Kontakt zu den IEE Mitarbeitern und profitiert von dem Mentoring der Institutsleitung.

**Bearbeiter:**

Dipl.-Ing. Holger Peters

Dipl.-Ing. Nico Peterschmidt

Dipl.-Ing. Jakob Schmidt-Reindahl

Frau Ellen Lessing

info@inensus.com

(Tel: 05321/6855-101)

**Projekt:** Autonomes Hybrides Energieversorgungssystem mit Windenergie

---



Mast und Streben



Transport der Batterie



Verladen des Containers



Montage des Mastes



Montage Rotor



Im Juni 2006 wurde nach 15monatiger Planungszeit hinter dem Institutsgebäude der Prototyp eines Energieversorgungscontainers mit einer 5 kW Windenergieanlage in Betrieb genommen. Dieses System gliedert sich nahtlos in die unterschiedlichen Forschungsaktivitäten der dezentralen Energieversorgung ein und integriert alle Komponenten eines Hybridsystems kompakt in einer Einheit.

In einem 20 Fuß Standard-Fracht-Container sind später alle Komponenten eines hybriden Energieversorgungssystems gebrauchsfertig installiert. Die regenerativen Energiewandlungskomponenten sind während des Transports im Container verstaut, können mit wenigen, einfachen Handgriffen entnommen und an den vorgesehenen Stellen am Container installiert werden. Der zur Vergrößerung der Standfläche seitlich verstreute Container dient selbst als Fundament der Windenergieanlage mit ca. 22 m Nabenhöhe und 5 m Rotordurchmesser. An der Fassade kann ein Photovoltaikmodul angebracht werden. Innerhalb eines Tages ist das komplette Energiesystem mit Windenergieanlage und Photovoltaik einsatzbereit. Als Speicher der regenerativ erzeugten En-





Aufrichten des Mastes mit einer Seilwinde auf dem Container



Fertig installiertes System



Innenausstattung des Containers für Forschungszwecke mit unterschiedlichen Wechselrichtern und der Batterie

ergie dient eine Batterie, aus der über Wechselrichter auch in windschwachen Zeiten Drehstrom- oder Wechselstromverbraucher gespeist werden. Durch einen zusätzlich installierten Dieselgenerator können längere Flautezeiten überbrückt, bzw. ein hochverfügbares System realisiert werden.

Schwerpunkt der Entwicklung ist auch bei diesem System die Integration der stark fluktuierenden Windenergie, insbesondere das Langzeitverhalten des Batteriespeichers.

Der erste Entwicklungsschritt fokussiert sich auf die Integration kommerziell erhältlicher Inselnetzwechselrichter, um schnell die Marktreife zu erlangen. Im Anschluss sollen eigene Umrichtersysteme implementiert werden.

Mit dem Energiecontainer lässt sich schnell, zuverlässig und mit wenig technischer Expertise vor Ort für bis zu 3 Jahren nahezu wartungsfrei elektrische Energie aus überwiegend regenerativen Quellen versorgen. Anders als bei herkömmlichen Dieselaggregaten ist es mit diesem leicht transportablen System möglich, die Intervalle für das Nachtanken mit Diesel erheblich zu verlängern. Vor diesem Hintergrund eignet sich das System z. B. für die Versorgung abgelegener Gebiete und bei Katastropheneinsätzen. Durch seine hohe Energiequalität und Versorgungssicherheit ist der Energiecontainer auch zur Versorgung sicherheitsrelevanter elektrischer Lasten geeignet.

Da für Errichtung und Betrieb keine Fundamente und keine elektrische Fachkenntnis notwendig sind, ist das System höchst flexibel und mobil einsetzbar.

Industriepartner: inensus GmbH



## **4 Personelle Besetzung**

### **4.1 Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts**

Hochschullehrer: (Institutsdirektor)	Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Akademischer Oberrat:	Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann
Oberassistent:	Dr. rer. nat. H. Wenzl
Wiss. Assistent:	Dr.-Ing. D. Turschner
Habilitand:	Dr.-Ing. A. Mbuy Dr.-Ing. O. Osika
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. R. Benger Dipl.-Ing. A. Dowrueng Dipl.-Inf. U. Dowrueng Dipl.-Ing. A. Haubrock Dipl.-Ing. A. Henze Dr.-Ing. R. Hesse Dipl.-Ing. T. Hesse Dipl.-Wi.-Ing. G. Kaestle Dipl.-Ing. T. Küster Dipl.-Ing. E. F. A. Mohamed Dr.-Ing. B. Musasa Dipl.-Ing. H. Peters Dipl.-Ing. N. Peterschmidt Dipl.-Ing. C. Ropeter Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt Dipl.-Ing. J. Schmidt-Reindahl Dipl.-Ing. C. Schröder Dipl.-Ing. H. Stagge Dipl.-Ing. J. zum Hingst

Freie wissenschaftliche Mitarbeiter: (externe Doktoranden)	Dipl.-Ing. Wieben, FH Wilhelmshaven Dipl.-Ing. Lorenzen, FH Wilhelmshaven Dipl.-Ing. Nicolai, FH Wilhelmshaven Dipl.-Ing. Peterschmidt, inensus Dipl.-Ing. Schmiesing, E.ON Avacon Dipl.-Ing. vom Felde, E.ON Avacon Dipl.-Ing. Vielhauer, E.ON Avacon
Gastwissenschaftler:	Herr Jishen Peng, China Herr (Ass. Prof.) De Qiang Zhang, China
MitarbeiterInnen im Technischen und Verwaltungsdienst (MTVD):	Frau E. Mendt Frau C. Schönemann Herr D. Fritze Herr W. Hansmann Herr H. Kirchner Herr M. Kirchner Herr R. Koschnik Frau C. Leder Herr H. Schultze Herr K. ter Smitten Herr S. Joachim (bis 01/07 Auszubildener) Herr M. Milewicz (Auszubildender) Herr S. Stille (Auszubildender) Herr M. Yilmaz (Auszubildener) Herr K. Bremer (Praktikant) Herr U. Kemnitz (Praktikant) Herr A. Rohde (Praktikant)

## Die Mitarbeiter des Institutes für Elektrische Energietechnik



H.-P. Beck  
(Direktor)  
-2570



Frau Mendt  
(Sekretariat)  
-2299



E.-A. Wehrmann  
(Akad. Oberrat)  
-2595



H. Wenzl  
(Oberassistent)  
-2272



D. Turschner  
(Wiss. Assistent)  
- 2592



M. A. J. M'Buy  
(Habilitand)  
- 3702



O. Osika  
(Habilitand)  
- 2593



R. Bengel  
(WiMa, Batterie-  
technik)  
- 2176



A. Dowrueng  
(WiMa, Energie-  
informatik)  
- 05321/6855-125



U. Dowrueng  
(WiMa, Energie-  
informatik)  
- 3597



A. Haubrock  
(WiMa, Batterie-  
technik)  
- 2593



R. Hesse  
(WiMa, Energie-  
konditionierer)  
- 3821



T. Hesse  
(WiMa, Dezen-  
trale Energiever-  
sorgung)  
- 2939



G. Kaestle  
(WiMa, Dezen-  
trale Energie-  
versorgung)  
- 2572



T. Küster  
(WiMa, Netz-  
simulation)  
- 3597



A. Henze  
(WiMa, Dezen-  
trale Energiever-  
sorgung)  
- 2593



E. Mohamed  
(WiMa, Druck-  
luft-Speicher)  
- 3702



B. Musasa  
(WiMa,  
Hydrodyn.-  
Kupplung)  
- 2939



H. Peters  
(WiMa, Elektrische  
Inselnetze)  
- 05321/6855-103



N. Peterschmidt  
(WiMa, Elektrische  
Inselnetze)  
- 05321/6855-101



M. Schmidt  
(WiMa, Dezentrale  
Energieversorg-  
ung)  
- 2572



J. Schmidt-Rein-  
dahl  
(WiMa. Elektrische  
Inselnetze)  
- 05321/6855-102



C. Schröder  
(WiMa, Dezen-  
trale Energie-  
versorgung)  
- 3736



H. Stagge  
(WiMa, Brenns-  
stoffzellentechno-  
logie)  
- 2594

Mitarbeiterinnen / Mitarbeiter

Telefon: 05323/72-



J. zum Hingst  
(WiMa, Netz-  
simulation)  
- 3597



K. Bremer  
(Praktikant)  
- 2940



D. Fritze  
(Elektrotechnik)  
- 2571



W. Hansmann  
(Mechanik)  
- 2571



S. Joachim  
(Auszubildener)  
- 2940



H. Kirchner  
(Elektrotechnik)  
- 2571



M. Kirchner  
(Elektronik)  
- 3839



U. Kemnitz  
(Praktikant)  
- 2940



R. Koschnik  
(Energieelektro-  
nik)  
- 5067



C. Leder  
(Elektrotechnik)  
- 2940



M. Milewicz  
(Auszubildender)  
- 2940



A. Rohde  
(Praktikant)  
- 2940

Mitarbeiterinnen / Mitarbeiter

Telefon: 05323/72-



C. Schöнемann  
(Techn. Zeich-  
nerin)  
- 2177



H. Schultze  
(Hausmeister)  
- 3810



S. Stille  
(Auszubildender)  
- 2940



K. ter Smitten  
(Mechanik)  
- 2571



M. Yilmaz  
(Auszubildener)  
- 2940

## 4.2 Nebenamtlich tätige Hochschullehrer bzw. Lehrbeauftragte

	Lehrgebiete:
Prof. Dr.-Ing. E. Baake	Lehrgebiet Theorie Elektromagnetischer Felder
Dr.-Ing. Buddenberg	Fossile und regenerative Energieressourcen
Dipl.-Ing. H. Darrelmann	Autonome Netze
Prof. Dr.-Ing. J. Hapke	Regenerative Energiequellen Unter besonderer Berücksichtigung der Wasserstoff- technologie
Dr.-Ing. J. Heldt	Sonderprobleme Elektrischer Maschinen
Prof. Dr.-Ing. B. Ludwig	Systemtechnik
Dr.- Ing. G. Lülß	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergie- anlagen
Dr.-Ing. K.-D. Maubach	Elektrizitätswirtschaft
Prof. Dr. rer. nat. C. Salander	Energiemanagement
Dr.-Ing. H. Schmidt	Hochspannungstechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Sourkounis	Regenerative Elektrische Energietechnik
Dr. rer. nat. H. Wenzl	Batterietechnik

## 4.3 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Herr S. A. Ahmadi	Herr S. Granzow	Frau S. Meiser
Herr C. Altmann	Herr J. Grede	Herr J.-M. Möller
Frau C. Aselmeier	Herr Q. T. Han	Herr A. Nebel
Herr M. Baye	Herr F. Hausdorf	Herr H. Nullmeier
Herr A. Becker	Frau K. Heitmann	Frau G. Sachs
Herr A. Blumenröther	Herr G. Hofbauer	Herr M. Stubbe
Herr C. Bünsow	Herr X. Hu	Herr C. Tode
Herr C. Carlowitz	Herr F. Kainer	Herr N. Wang
Herr A. van Daake	Herr M. Klix	Frau K. Wiesemeyer
Herr B. Fuhrmann	Herr C. Luengjiranothai	Herr N. Yobo
Herr J. Gambel	Herr A. Moghaddam	Herr B. Zou



#### **4.4 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen und in den Selbstverwaltungsgremien der Universität**

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vizepräsident für Forschung und Hochschulentwicklung der TU Clausthal</li><li>- Vorstandsvorsitzender des Energieforschungszentrums Niedersachsen (ab 01.02.2008)</li><li>- Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirates des CUTEC Instituts GmbH</li><li>- Stellvertretender Vorsitzender der Lenkungsgruppe Landesstrategie Brennstoffzelle</li><li>- Federführer im Projekt TUCplus (Chance Management-kreis der TUC)</li><li>- Vorstandsmitglied des Forums Clausthal (FC)</li><li>- Niedersächsisches Mitglied in der EU-Commission C (VRE)-Regionale Entwicklung</li><li>- Member of the International Scientific Committee for Electrical Power Quality and Utilisation</li><li>- Ordentliches Mitglied der Braunschweigischen wissenschaftlichen Gesellschaft</li><li>- ordentliches Mitglied der acatech (Akademie für Technikwissenschaften e. V.)</li><li>- Senatbeauftragter Kooperation Petrosani</li><li>- Vorstandssprecher im Forschungsverbund Energie Niedersachsen (Dezentrale Energiesysteme)</li><li>- Mitherausgeber des Handbuches Energiemanagement</li></ul>
Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mitglied der Kommission zum wissen. Fehlverhalten</li><li>- Mitglied der Jury bei "Jugend forscht" (bis 2007)</li><li>- Prüfungskommission für Energiesystemtechnik</li><li>- Studienkommission für Energiesystemtechnik</li></ul>
Dr.-Ing. D. Turschner	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mitglied der Jury bei "Jugend forscht" (ab 2007)</li></ul>
Dipl.-Ing. R. Benger	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mitglied der Studienkommission für die Lehrinheit "Energie und Rohstoffe"</li></ul>



Herr Dipl.-Ing. C. Ropeter	<ul style="list-style-type: none"><li>- stellv. Mitglied in der Kommission für die Vergabe von Graduiertenstipendien</li><li>- stellv. Mitglied im Wahlausschuss</li></ul>
Herr W. Hansmann	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mitglied des Personalrates</li><li>- Schadstoffbeauftragter</li></ul>
Herr H. Kirchner	<ul style="list-style-type: none"><li>- stellv. Mitglied im Personalrat</li><li>- Brandschutzbeauftragter</li></ul>
Herr R. Koschnik	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ausbilder</li><li>- Sicherheitsbeauftragter</li><li>- Mitglied des Prüfungsausschusses für Energieelektroniker der IHK Braunschweig</li></ul>

## **5 Links**

- [www.tu-clausthal.de](http://www.tu-clausthal.de)
- [www.iee.tu-clausthal.de](http://www.iee.tu-clausthal.de)
- [www.efzn.de](http://www.efzn.de)
- [www.fven.de](http://www.fven.de)
- [www.dresy.de](http://www.dresy.de) (Energiepark)

## **6 Anlagen**

Die Anlagen sind in der angegebenen Reihenfolge eingebunden

Anlage 1	Ressourcen des Institutes
Anlage 2	efzn-Flyer
Anlage 3	FEN-Flyer
Anlage 4	IEE-Flyer
Anlage 5	HbE-Flyer



# Institut für Elektrische Energietechnik

## Ressourcen des Institutes

- |   |  |                     |
|---|--|---------------------|
| • | Verfügbare Gebäudefläche               | 1670 m <sup>2</sup> |
|   | -Bürofläche                            | 826 m <sup>2</sup>  |
|   | -Labor-/Prüffeldfläche                 | 794 m <sup>2</sup>  |
|   | -Drittmittelhalle                      | 100 m <sup>2</sup>  |
| • | Mitarbeiter (Stand Ende 2007)          |                     |
|   | -wissenschaftliches Personal           | 18                  |
|   | -techn.-/Verwaltungsangestellte        | 11                  |
|   | -Lehrbeauftragte / Gastwissenschaftler | 6 / 2               |
|   | -Wissenschaftliche Hilfskräfte         | 33                  |
|   | -externe Doktoranden                   | 7                   |
|   |  | 77                  |
- 
- Prüffeld mit
    - Maschinen-/Antriebslabor
    - Energieelektroniklabor
    - Hochspannungs-/Energieanlagenlabor
    - Prüfstände für Walzwerks-, Bahn- /Schredder-Antriebe mit Umrichter
    - Batterie-Prüfstand mit Impulslade / -entladegerät und Impedanzspektrometer
    - Prüfstand für Windkraftanlagen zur Getriebeprüfung
    - Schleudergrube
    - Brennstoffzellen-Versuchseinrichtung
  - Energiekonditionierungsanlage (VISMA/ELSAD)
  - Prozeßrechner-/Simulationstechniklabor: Windows - NT - Workstations, Digitale Signalprozessor - Einschübe, CIP-Pool, WAP-Pools
  - MATLAB-Simulink, SABER, PSPICE etc.
  - Digitale Signalprozessoreinheiten (Einschübe der Firma dSpace)
  - Energiepark Clausthal



# Niedersachsen – Ein Land voller Energie

Das Flächenland Niedersachsen zählt traditionell zu den bedeutsamsten deutschen Energieländern. So stammen rund 90 % der deutschen Erdgasförderung und rund ein Drittel der deutschen Erdölförderung aus Niedersachsen. Als küstennahes Flächenland verfügt das Land über einen hohen Anteil regenerativ erzeugter Energie, welche vornehmlich auf den alternativen Energien Wind- und Wasserkraft sowie Biomasse beruht. Durch Nutzung von rund 25 % seiner Agrarflächen für den Anbau von Energiepflanzen hat sich Niedersachsen einen Spitzenplatz bei der Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen gesichert.

Neben diesen vielfältigen Energierohstoffen verfügt Niedersachsen über herausragendes Know-how in Forschung und Entwicklung. Der hohe Stellenwert des Energiesektors hat seinen Niederschlag auch in der niedersächsischen Energieforschung gefunden. So sind seither verschiedene niedersächsische Forschungsinstitutionen aus dem universitären und außeruniversitären Bereich mit der Untersuchung technischer und nicht-technischer Fragestellungen aus dem Energiesektor befasst. Darüber hinaus verfügt das Land über einen dichten Besatz mit hoch qualifizierten Unternehmen. Durch Einsatz moderner Erkundungs- und Fördertechnologien „made in Niedersachsen“ konnten in der Vergangenheit zahlreiche Erdöl- und Erdgasvorkommen sowohl in der deutschen Bucht als auch auf dem Festland neu erschlossen werden. Aber auch industrielles Know-how in der konventionellen und regenerativen Anlagentechnik ist zu einem wichtigen Exportartikel des Landes geworden.

Um die bestehenden niedersächsischen Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Energiewirtschaft zusammenzuführen und dadurch die nieder-

sächsische Energieforschung als Ganzes voranzutreiben, hat die Technische Universität Clausthal, gemeinsam mit den Universitäten in Braunschweig, Göttingen, Hannover und Oldenburg, das Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) in Goslar gegründet. Ziel dieser Forschungseinrichtung ist es, durch eine dauerhafte Kooperation unterschiedlicher technischer und nicht-technischer Wissenschaftsdisziplinen, der zunehmenden Komplexität energiebezogener Fragestellungen adäquat begegnen zu können. Dieser innovative Forschungsansatz integriert bei der Problemanalyse und -lösung die disziplinübergreifenden und gegenseitigen Abhängigkeiten entlang der gesamten Energiekette – ausgehend von der Energierohstoffgewinnung über die Energieerzeugung und den -transport bis hin zum Energieverbrauch und die Lagerung von Reststoffen der Energieerzeugung. Auf diese Weise wird eine fächerübergreifende Energieforschung ermöglicht.

Das EFZN vereint derzeit rund 90 Professuren der beteiligten Universitäten auf sich und ist damit für seine Kunden aus den Bereichen Gesellschaft, Politik und Wirtschaft der kompetente Ansprechpartner in Forschungsfragen aus dem Energiebereich. Sollten Sie an einer Zusammenarbeit interessiert sein, sprechen Sie uns an.

## Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

Geschäftsstelle

Dr. Jens-Peter Springmann

Am Stollen 19

38640 Goslar

Telefon: (0 53 21) 68 55-1 20

Telefax: (0 53 21) 68 55-1 29

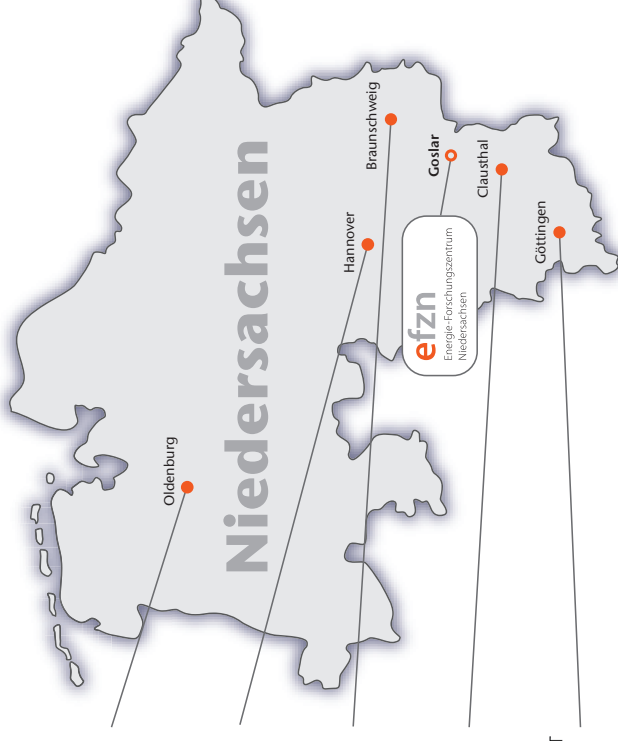
E-Mail: [geschaeftsstelle@efzn.de](mailto:geschaeftsstelle@efzn.de)

Internet: <http://www.efzn.de>

**efzn**  
Energie-Forschungszentrum  
Niedersachsen

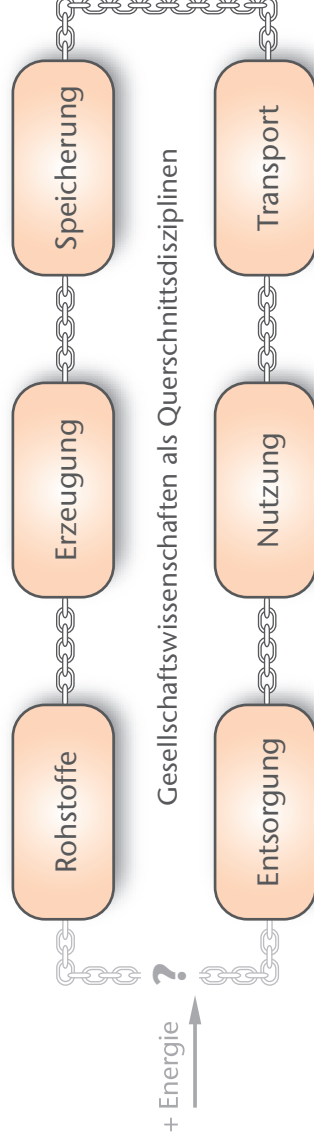


## Gründungs- universitäten



## Energiekette

Disziplinübergreifende Forschungsausrichtung entlang der gesamten Energiewertschöpfungskette mit dem Ziel der Schließung des Stoffkreislaufes



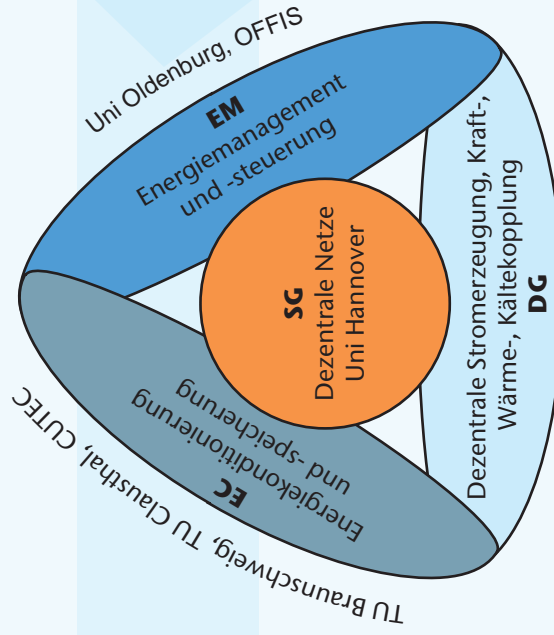
## Vorstand

- **Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck**  
Technische Universität Clausthal (Vorsitzender)  
E-Mail: info@ee.tu-clausthal.de
- **Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Jürgen Appelrath**  
Universität Oldenburg (stellv. Vorsitzender)  
E-Mail: appelrath@informatik.uni-oldenburg.de
- **Prof. Dr.-Ing. Ernst Gockenbach**  
Universität Hannover  
E-Mail: gockenbach@si.uni-hannover.de
- **Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat**  
Technische Universität Braunschweig  
E-Mail: m.kurrat@tu-braunschweig.de
- **Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld**  
Technische Universität Clausthal  
E-Mail: oliver.langefeld@tu-clausthal.de
- **Prof. Dr. Wolfgang Lücke**  
Universität Göttingen  
E-Mail: wluecke1@gwdg.de
- **Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schade**  
Technische Universität Clausthal  
E-Mail: wolfgang.schade@tu-clausthal.de

## Forschungsbereiche

- Energierohstoffe und -speicher
- Energieerzeugung und -veredelung
- Energiesystem und -prozessentechnik
- Entsorgung
- Energieinformatik
- Energiewirtschaft
- Atom- und Energierecht
- Grundlagen neuer Energietechnologien

Bedingt durch günstige Windverhältnisse und Wasserkraftwerke im Harz verfügt Niedersachsen über einen relativ hohen Anteil dezentral erzeugter elektrischer Energie. Weiterhin ist es ein erklärtes Ziel der Landesenergiepolitik, die Flächenlandstrukturen mit dem hohen Anteil an Agrarwirtschaft einzusetzen, um die energetische Nutzung der Biomasse weiter auszubauen, wodurch die dezentral erzeugte elektrische Energie weiter ansteigt. Dabei sind die folgenden Fragen noch nicht befriedigend beantwortet: Wie kommt die dezentral im Niederspannungsnetz produzierte elektrische Energie zum Verbraucher, ohne

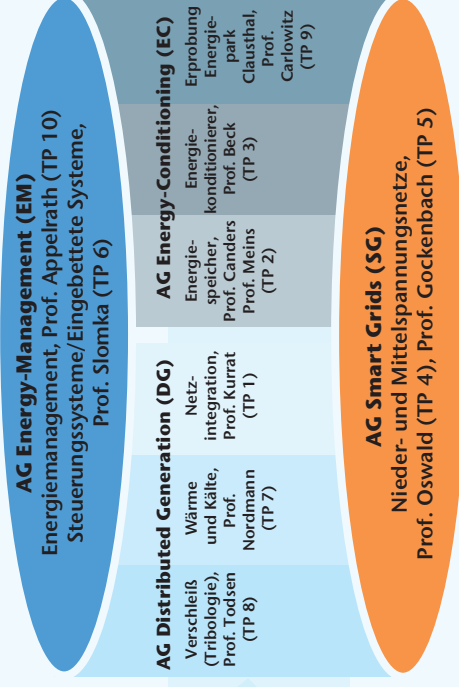


## Dezentrale Energiesysteme (Zuordnung der Themenfelder zu den Arbeitsgruppen)

dass die bestehenden Netze überlastet werden, und wie gestaltet man das Zusammenwirken vieler dezentraler Stromerzeuger mit hoher Effektivität?

Die geplanten Untersuchungen innerhalb des Forschungsverbundes tragen zur Lösung dieser Probleme bei. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit unterschiedlicher Disziplinen wie Elektrotechnik, Maschinenbau, Verfahrenstechnik und Informatik schafft beste Voraussetzungen für den gebündelten Einsatz von Fachwissen und ist deshalb geeignet, die entstehenden fakultätsübergreifenden Fragestellungen zu lösen.

## Struktur Forschungsverbund Energie Niedersachsen



## Projektbeteiligte

- Teilprojekt 1: TU Braunschweig  
Prof. Dr.-Ing. Kurrat  
m.kurrat@tu-bs.de
- Teilprojekt 2: TU Braunschweig  
Prof. Dr.-Ing. Canders  
w.canders@tu-bs.de  
Prof. Dr.-Ing. Meins  
j.meins@tu-bs.de
- Teilprojekt 3: TU Clausthal  
Prof. Dr.-Ing. Beck  
mendt@iee.tu-clausthal.de
- Teilprojekt 4: Uni Hannover  
Prof. Dr.-Ing. habil. Oswald  
oswald@iee.uni-hannover.de
- Teilprojekt 5: Uni Hannover  
Prof. Dr.-Ing. Gockenbach  
gockenbach@si.uni-hannover.de
- Teilprojekt 6: Uni Oldenburg  
Jun.-Prof. Dr.-Ing. Slomka  
slomka@informatik.uni-oldenburg.de
- Teilprojekt 7: FH Hannover  
Prof. Dr.-Ing. Nordmann  
dieter.nordmann@fh-hannover.de
- Teilprojekt 8: FH Hannover  
Prof. Dr.-Ing. Todsen  
uwe.todsen@fh-hannover.de
- Teilprojekt 9: CUTEc  
Prof. Dr.-Ing. Carlowitz  
otto.carlowitz@cutec.de
- Teilprojekt 10: OFFIS  
Prof. Dr. Appelrath  
appelrath@offis.de



## Vorlesungen

- Grundlagen der Elektrotechnik I/II
- Elektrische Energietechnik
- Energiesysteme
- Regelung Elektrischer Antriebe
- Energieelektronik
- Leistungsmechanische Systeme
- Sonderprobleme Elektrischer Maschinen
- Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen
- Theorie Elektromagnetischer Felder
- Dynamische Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft
- Wissensmanagement
- Batteriesysteme
- Elektrische Energieerzeugung
- Elektrische Energieverteilung
- Lastflussberechnung elektrischer Energiesysteme
- Autonome Netze
- Regenerative Elektrische Energietechnik
- Darbietung Regenerativer Energiequellen
- Regenerative Energiequellen unter besonderer Berücksichtigung, der Wasserstoff-Technologie
- Fossile und regenerative Energieressourcen
- Elektrizitätswirtschaft

## Praktika

- Grundlagen der Elektrotechnik I/II
- Grundpraktikum Maschinenbau (antellig)
- Grundpraktikum Energiesystemtechnik (antellig)
- Elektrische Antriebe I/II
- Energieelektronik
- Mechatronik
- Energiespeicher
- Anlagen- und Steuerungstechnik
- Hochspannungstechnik
- Regenerative Elektrische Energietechnik

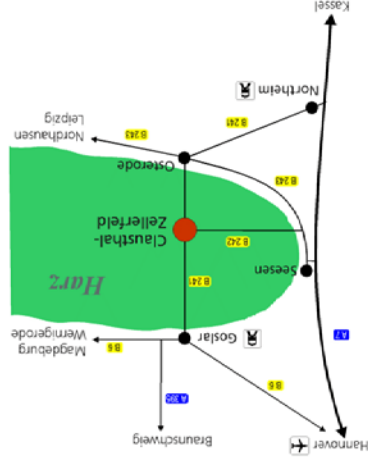
## Seminare, Projekt-, Studien- und Diplomarbeiten

- Seminar zur Energiesystemtechnik
- Projekt-, Studien- und Diplomarbeiten je nach Diplomprüfungsordnung aus dem gesamten Fachgebiet der Energiesystemtechnik, speziell im Rahmen der aktuellen Forschungsprojekte

## Promotionsvorhaben

- Themen aus dem gesamten Fachgebiet der Energiesystemtechnik, speziell aus den aktuellen Forschungsaufgaben der Arbeitsgruppen

## Lagepläne

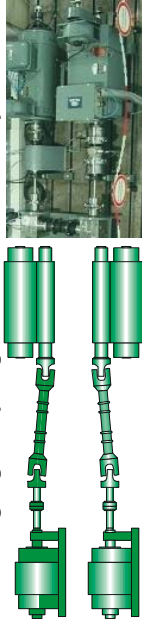


## Arbeitsgruppe Leistungsmechatronik / Antriebe

Leiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner  
Tel.: +49-5323-72-2592  
E-Mail: turschner@iee.tu-clausthal.de

### Forschungsschwerpunkte und Projekte:

- Schwingungsdämpfung in Walzwerk-Antriebssystemen



Nachbildung eines Walzwerk-Antriebssystems an einem Prüfstand

- Modellierung von Walzspalt und Walzwerkantriebssystemen
- Selbstoptimierende Regelungen zur aktiven Schwingungsdämpfung
- Untersuchung spezieller mechanischer Störphänomene, z. B. sogenannte Ratter- und Brummeffekte

- Betriebssicherheit verschiedener Windenergieanlagentypen

- Modellierung und Simulation des Verhaltens von Windenergieanlagen bei Störungen im Netz sowie mechanischer Belastung durch Windböen
- Nachbildung von Windenergieanlagen im Prüfstandsformat zur Modellvalidierung
- Auswirkung von Sonderereignissen auf die Mechanik von Windenergieanlagen

- Brennstoffzellen und elektronische Wandler

- Entwicklung von Brennstoffzellen-Systemdemonstratoren
- Entwicklung von DC-DC-Wandlern für die Brennstoffzellenanbindung an Batteriespeicher und Wechsellrichter
- Konzeption und Umsetzung von Energiemanagementkonzepten für Brennstoffzellen-Systemdemonstratoren

- VISMA (Virtuelle Synchronmaschine)

- Leistungselektronische Nachbildung der elektromechanischen Synchronmaschine mit allen statischen und dynamischen Merkmalen zur Netzkopplung von Erzeugern
- Sichere Integration vornehmlich regenerativer Erzeuger in dezentrale Netze
- Statik-Betrieb am Netz; Leistungsfernabruf; Erhöhung der lokalen Kurzschlussleistung; Netzentpendelung/-dämpfung; elektrisch wirksame, virtuell rotierende Masse

- TriCore™ - 32 Bit - Mikrorechnerplattform

- TriBoard: Arbeitsgruppenprojektübergreifende Mikrorechnerplattform auf der Basis des TC 1796
- Echtzeit-Systemmodelle; Mess- und Steueraufgaben

## Arbeitsgruppe Dezentrale Energiesysteme

Leiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann  
Tel.: +49-5323-72-2595  
E-Mail: wehrmann@iee.tu-clausthal.de

### Forschungsschwerpunkte und Projekte:

- Forschungsverbund Energie Niedersachen / Energiepark Clausthal

- Versorgung des Gebäudes des Clausthaler Umwelttechnik-Institutes komplett mit erneuerbarer Energie (auch im Inselnetzbetrieb)
- Regenerativ gespeistes elektrisches Niederspannungsnetz in Form eines so genannten Micro- oder Smartgrids



Biogas, Pflanzenöl, Photovoltaik, Batteriespeicher, Energiekonditionierer, Wind (v.l.o.)

- Dezentrales Energiemanagement System

- Vorausplanung und Online-Korrektur des Einsatzes dezentraler elektrischer Energieerzeuger
- Quasistationäre Echtzeitsimulation eines elektrischen Verteilnetzes mit unvollständiger Messinfrastruktur
- Identifizierung nicht gemessener Knotenlasten

- Online Gasnetzsimulation

- Vorausschauende Gasnetzsimulation mit integriertem Beobachter der Fluss- und Druckzustände in regionalen Gasverteilnetzen mit geringer Anzahl gemessener Größen
- Bestimmung einer möglichst geringen Anzahl und optimalen Verteilung von Messstellen für Fluss und Druck

- Virtuelles Kraftwerk Harz

- Planbare und abrufbare elektrische Leistung aus dezentralen Quellen
- Mini-BHKWs zur Spitzenlastoptimierung
- Statistische Bewertung des zeitlichen Verlaufes von Einspeiseleistungen dezentraler elektrischer Energieerzeuger

## Arbeitsgruppe Speichersysteme

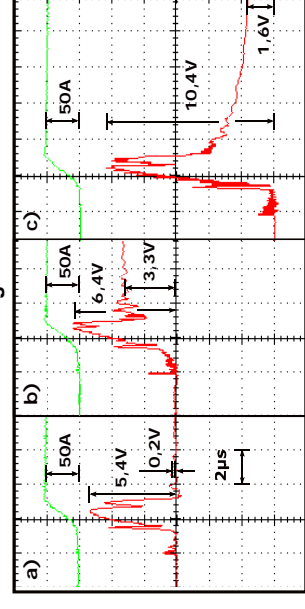
Leiter: Dr. rer. nat. Heinz Wenzl  
Tel.: +49-5323-72-2272  
E-Mail: heinz.wenzl@tu-clausthal.de

### Forschungsschwerpunkte und Projekte

- Verhalten und Charakterisierung von Batterien als Teil elektrischer Gesamtsysteme

- Bordnetze in Fahrzeugen: Simulation von batteriegestützten Gleichspannungsnetzen, Diagnose und Zustandsverbesserung von Batterien
- Batterien in erneuerbaren Energiesystemen: Ladezustandsbestimmung, Einsatzbedingungen und Betriebsstrategien
- Lebensdauerprognose, Gesamtheiliches Batteriemodell beim Laden und Entladen inkl. Alterungseffekte, Wärmeentwicklung, Wasserverlust durch Nebenreaktionen

- Nachbildung und Modellierung des Systemverhaltens verschiedener Batterietechnologien im Mikrosekundenbereich



Dynamisches Verhalten verschiedener Batterietypen:  
Litium-Ionen      Blei      Nickel-Metallhydrid

- Auswirkung hochdynamischer Laständerungen (bis zu 200A/µs) durch Schaltvorgänge von Leistungselektronikkomponenten auf Batterien und Brennstoffzellen
- Physikalisch-chemischen Grundlagen, Modellierung eines Ersatzschaltbildes für hochdynamisches Verhalten
- Kombination von Energiespeichern unterschiedlicher Dynamik (Supercapacitors in Verbindung mit Batterien)

- Fehlertolerantes Brennstoffzellensystem mit elektrischer Parallelschaltung
- Batteriegepufferter Umrichter für den Netzparallelbetrieb und Inselbetrieb von Brennstoffzellen
- Leistungsstarke Nachbildung von Batterien und Brennstoffzellen bis ca. 10 kW



# Handbuch Energiemanagement

Das Standardwerk für Entscheider und Verantwortliche der  
Energiebranche in Versorgungsunternehmen, Industrie,  
Kommunalverwaltungen, Hochschulen und Forschungsinstituten



Für den umfassenden Überblick über die aktuellen  
Entwicklungen im Spannungsfeld Wirtschaft, Recht  
und Technik der Energiebranche



VWEW Energieverlag GmbH  
Lloydstraße 88  
60526 Frankfurt am Main  
Telefon: 0 69 - 71 04 687 - 3 51  
Telefax: 0 69 - 71 04 687 - 3 59  
E-Mail: [vertrieb@vwev.de](mailto:vertrieb@vwev.de)  
Internet: [www.vwev.de](http://www.vwev.de)

## Anwender

Das Loseblattwerk richtet sich an Energieerzeuger, Energieverarbeiter, Energienutzer sowie an Verantwortliche für Öffentlichkeits- und Pressearbeit. Beratende Ingenieure in allen Wirtschaftsbereichen, speziell in Energieversorgungsunternehmen, sowie in kommunalen Unternehmen, Behörden, Stadt- und Gemeindeverwaltungen, Hochschulen, Forschungsinstituten und Mitarbeiter der produzierenden Industrie erhalten mit diesem Handbuch eine ausgewogene Verknüpfung von Wissenschaft und Praxis.

## Abnehmer:

Unternehmen	
Ansprechpartner (Vorname, Name)	
Stelle	
PLZ/St.	
St. Fax	
E-Mail	
Zeitraum, Interessent	



VWEW Energieverlag GmbH  
Lloydstraße 88  
60526 Frankfurt am Main  
Telefon: 0 69 - 71 04 687 - 3 51  
Telefax: 0 69 - 71 04 687 - 3 59  
E-Mail: [vertrieb@vwev.de](mailto:vertrieb@vwev.de)  
Internet: [www.vwev.de](http://www.vwev.de)

## Herausgeber & Team

Die Herausgeber, Beiratsmitglieder, Redakteure sowie Autorinnen und Autoren sind Experten aus Unternehmen, Verbänden, der öffentlichen Verwaltung, aus dem Hochschulbereich und der außeruniversitären Forschung. Damit wird der hohe Qualitätsanspruch des Handbuchs gewährleistet, das neben energiewirtschaftlichen, natur- und ingenieurwissenschaftlichen auch rechts- und sozialwissenschaftliche Aspekte aufzeigt.

### Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck  
Prof. Dr. jur. Dipl.-Ing. Edmund Brandt  
Prof. Dr. rer. nat. Carsten Salander  
(TU Clausthal)

### Beirat:

Dr.-Ing. Jörg Buddenberg, EWE  
Dr. rer. pol. Gerd Knott, E.ON Energie  
Dipl.-Ing. Johannes Schmalstieg, E.ON Aachen  
Prof. Dr. jur. Wolfgang Straßburg, RWE  
Dr. rer. nat. Bruno Thomauske, Vattenfall Europe Nuclear Energy

### Redaktion:

Dipl.-Ing. Cornelia Haab-Ropeler  
Dipl.-Umweltwiss. Andreas Heck M.Sc.L.

## BESTELLUNG zurückfakten an: 069 - 71 04 687 - 3 59

per E-Mail an: [vertrieb@vwev.de](mailto:vertrieb@vwev.de)  
in unserem Online-Shop unter: [www.vwev.de](http://www.vwev.de)  
oder per Post an: untenstehende Adresse

Ich/Wir bestelle(n): — Expl. Handbuch Energiemanagement, Loseblattwerk  
in drei Ordnern ohne Fortsetzung  
Preis 150,- €, Bestell-Nr. 6555 01  
Akkusatz-Standard, über 3.000 Seiten, Format 16 x 23,5 cm  
— Expl. Handbuch Energiemanagement, Loseblattwerk  
in drei Ordnern zur Fortsetzung  
Preis 164,- €, zzgl. etwa vier Ergänzungslieferungen jährlich,  
Bestell-Nr. 6555 01  
Akkusatz-Standard, über 3.000 Seiten, Format 16 x 23,5 cm

Alle Preise inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten  
Das Abonnement für die Ergänzungslieferungen läuft mindestens zwölf Monate und kann danach jeweils zur nächsten Ergänzungslieferung verlängert werden. Die Preise der Ergänzungslieferungen sind nicht im Preis des Grundwerks enthalten.

☐ Bitte informieren Sie mich regelmäßig über  
Neuerscheinungen des VWEW Energieverlages.



